Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales

Tercera edición

Fred E. Meyers • Matthew P. Stephens

PEARSON
Prentice Hall ®

Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales

TERCERA EDICIÓN

Fred E. Meyers
Matthew P. Stephens

TRADUCCIÓN
Javier Enríquez Brito
Traductor profesional

Revisión técnica
Guillermo Haaz Díaz
Profesor
Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas
División de Ingeniería y Arquitectura
Tecnológico de Monterrey
Campus Estado de México

Diego Adiel Sandoval Chávez
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

PEARSON Educación ®

MÉXICO • ARGENTINA • BRASIL • COLOMBIA • COSTA RICA • CHILE • ECUADOR
ESPAÑA • GUATEMALA • PANAMÁ • PERÚ • PUERTO RICO • URUGUAY • VENEZUELA

Datos de catalogación bibliográfica

MEYERS, FRED E. y
STEPHENS, MATTHEW P.

Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2006

ISBN: 970-26-0749-3
Área: Ingeniería

Formato: 18.5 × 23.5 cm Páginas: 528

Authorized translation from the English language edition, entitled *Manufacturing Facilities Design and Material Handling* by *Fred E. Meyers* and *Matthew P. Stephens*, published by Pearson Education, Inc., publishing as PRENTICE HALL INC. Copyright ©2005. All rights reserved.
ISBN 0131125354

Traducción autorizada de la edición en idioma inglés, titulada *Manufacturing Facilities Design and Material Handling* por *Fred E. Meyers* y *Matthew P. Stephens,* publicada por Pearson Education, Inc., publicada como PRENTICE-HALL INC. Copyright ©2005. Todos los derechos reservados.

Esta edición en español es la única autorizada.

Edición en español

Editor:	Pablo Miguel Guerrero Rosas
	e-mail: pablo.guerrero@pearsoned.com
Supervisor de desarrollo:	Felipe Hernández Carrasco
Supervisor de producción:	Enrique Trejo Hernández

TERCERA EDICIÓN, 2006

D.R. © 2006 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
Atlacomulco Núm. 500-5° piso
Col. Industrial Atoto
53519, Naucalpan de Juárez, Edo. de México
E- mail: editorial.universidades@pearsoned.com
Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana.
Reg. Núm. 1031.

Edición en inglés

Editor in Chief:	Stephen Helba
Executive Editor:	Debbie Yarnell
Associate Editor:	Kimberly Yehle
Editorial Assistant:	Jonathan Tenthoff
Production Editor:	Louise N. Sette
Production Supervision:	Carlisle Publishers Services
Design Coordinator:	Diane Ernsberger
Cover Designer:	Linda Sorrels-Smith
Production Manager:	Matt Ottenweller
Marketing Manager:	Jimmy Stephens

Prentice Hall es una marca registrada de Pearson Educación de México. S.A. de C.V.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor.

El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso de este ejemplar requerirá también la autorización del editor o de sus representantes.

ISBN 970-26-0749-3

Impreso en México. *Printed in Mexico.*
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 09 08 07 06

PEARSON Educación ®

Prefacio

La tercera edición de *Diseño de instalaciones industriales y manejo de materiales* sigue el mismo enfoque práctico para la planeación de instalaciones que tuvieron las ediciones anteriores. De manera que, con el mismo enfoque sistémico, el libro se amplió en el importante tema de la manufactura esbelta. Además de incluir un conjunto amplio de preguntas y problemas para análisis al final de cada capítulo, se agregó un caso de estudio exhaustivo, cuya forma es la de "un proyecto en curso", el cual, de forma continua, se presenta al final de los capítulos pertinentes con la finalidad de hacer referencia al tema en cuestión, y brindar un ejemplo completo y práctico acerca de cómo poner en práctica el material que se expone en el texto.

Las metas de este libro de texto orientado a proyectos, sobre diseño de instalaciones y manejo de materiales, son ofrecer a los lectores y profesionales un recurso práctico, que describa las técnicas y los procedimientos para desarrollar una distribución eficaz de las instalaciones, y presentar algunas de las herramientas más modernas, como la simulación por computadora.

Este libro de *cómo hacer* guía al lector por el conjunto, el análisis y el desarrollo de los datos vitales y necesarios para diseñar un sembrado[1] funcional de la planta. Nuestro enfoque sistemático y metódico permite que el lector novato aprenda paso a paso. No obstante, el libro se estructuró de manera que también puedan usarlo como guía y referencia útil los planeadores más experimentados .

Los antecedentes de matemáticas y requerimientos para esta obra se conservaron de manera intencional en el nivel de álgebra de bachillerato. Aunque los análisis cuantitativos y el manejo numérico son muy importantes para planear instalaciones eficaces, es factible ir desarrollando esta capacidad sin dificultar el proceso con procedimientos matemáticos poco claros.

Para quienes planean instalaciones y otros profesionales de la manufactura y la tecnología, resulta muy provechoso contar con cierta experiencia en el manejo de computadoras y con programas de diseño asistido por computadora (CAD). El texto analiza y pone énfasis en dichas técnicas.

En promedio una instalación de manufactura pasará por una redistribución una vez cada 18 meses. Es más, la eficiencia, productividad y rentabilidad de una empresa específica se correlacionan directamente con la eficiencia de su sembrado y de sus sistemas de manejo de materiales. Así, las personas capacitadas en tales áreas tienen demanda y remuneraciones atractivas.

El diseño de la instalación y los sistemas de manejo de materiales inician con la recolección de datos provenientes de distintos departamentos. El capítulo 2 describe las fuentes y lo significativo de esa información. El departamento de marketing ofrece datos acerca de los requerimientos de distintos consumidores, lo cual determina el volumen de la producción y las diferentes capacidades de manufactura.

[1] *Nota del traductor:* En el lenguaje de la vida profesional se denomina *sembrado* al lugar que ocuparán, en un terreno, las distintas construcciones.

El departamento de ingeniería del producto suministra planos y cotizaciones de materiales, y ayuda en el cálculo de las necesidades de equipo. Las políticas de inventarios e inversión se determinan de acuerdo con las políticas administrativas, las cuales, a la vez, dictan los requerimientos de espacio, las decisiones de fabricar o comprar, las fechas de inicio de la producción, etcétera.

Entre los datos más básicos y fundamentales se encuentran principios de economía de tiempos y movimientos, y estándares temporales. Con base en esta información se calculan los requerimientos de maquinaria y de personal, se equilibran las líneas de ensamble y se nivela la carga de trabajo en las células de manufactura. Se agregó el capítulo 3 para presentar al lector en los conceptos de movimiento y estudio de tiempos.

El capítulo 4 describe el desarrollo de las hojas de trayectoria, la secuencia de operaciones, las gráficas de ensamble, el equilibrio de líneas de ensamble y el cálculo de la fracción de equipo. También se incluyó el uso de la simulación por computadora. El capítulo 5 analiza el flujo de materiales para garantizar la colocación adecuada de las máquinas y los departamentos, con la finalidad de minimizar los costos. En este capítulo se analizan siete técnicas, así como el diseño y el análisis de flujo asistido por computadora.

El capítulo 6 describe el diagrama de relación de actividades y también explora la importancia de las relaciones entre departamentos, personas, oficinas y servicios, así como el efecto que tienen sobre el sembrado. La relación de actividades conduce a la creación del diagrama de bloques adimensional.

El cálculo del espacio y las consideraciones ergonómicas son aspectos muy importantes y significativos en la planeación de instalaciones. El capítulo 7 estudia el diseño de estaciones de trabajo, en tanto que el 8 cubre los requerimientos de espacio de los servicios auxiliares. El capítulo 9 analiza las necesidades de espacio de los servicios para los empleados, y el 12 examina las técnicas de distribución y los requerimientos de espacio para las oficinas.

El diagrama de bloques adimensional, que se desarrolla en el capítulo 6, se utiliza como guía para la asignación de áreas, lo cual se estudia en el capítulo 13. El procedimiento para asignar áreas da como resultado un diagrama de asignación de éstas. En este momento se crean un plano parcelario y una distribución detallados. En el capítulo 14 se exponen las múltiples técnicas que hay para construir distribuciones.

Muchas otras funciones también requieren espacio. Algunas áreas necesitan espacio amplio, como, por ejemplo, el departamento de producción, las tiendas y las bodegas. El análisis adecuado y el conocimiento de los criterios de diseño podrían ahorrar mucho espacio y facilitar la eficiencia tanto del personal como del equipo. Otras funciones y espacios que reclaman el estudio cuidadoso de quien planea las instalaciones son la recepción, los embarques, la cafetería, la enfermería y las oficinas. La ubicación y el tamaño de cada actividad afectan la eficiencia operacional conjunta. Los capítulos 8, 9 y 12 están dedicados a dichos temas.

Los sistemas de manejo de materiales se analizan en los capítulos 10 y 11. Se muestran al lector conceptos novedosos y estimulantes sobre el manejo de materiales y sus equipos. Se destaca el uso de la identificación y captura de datos automáticos (ICDA) y de las consideraciones ergonómicas. Se invita al lector a integrar el manejo de materiales con otras funciones, con el objetivo de incrementar la productividad y la eficiencia.

El capítulo 15 se agregó para estudiar el concepto de simulación. Aquí se introduce al lector a diferentes aplicaciones y al poder de la simulación por computadora, en el campo de la planeación de instalaciones. Aquí se presentan al lector los paquetes de cómputo más modernos para simular, y también se estudian casos particulares.

El capítulo 16 cubre la argumentación a favor de una distribución como parte del informe de un proyecto y de su presentación oral, lo cual forma parte importante de cualquier trabajo.

El diseño resultante de las instalaciones sólo es tan bueno como los datos, y el análisis de éstos, en que se haya basado el plan. Es probable que nada afecte más la eficiencia y seguridad de las operaciones de una empresa que su distribución y sistema de manejo de materiales.

Este libro se pensó como un auxiliar de estudiantes y profesionales en el diseño de instalaciones de manufactura eficientes. Los estudiantes deben elegir un producto sencillo que tenga al menos diez partes, cada una de las cuales requiera cinco operaciones de manufactura, y trate de generar una distribución capaz de producir un mínimo de 1,000 unidades por cada turno de ocho horas. El proyecto final debe ser un informe escrito con su presentación oral. El caso de estudio "Proyecto en la práctica", que se presenta al final de la mayoría de los capítulos, tiene por objetivo auxiliar en dicho proceso.

Fred E. Meyers
Matthew P. Stephens

Agradecimientos

Como alumno de Richard Muther y Jim Apple, he recibido mucha influencia de ellos. Sus actitudes tienen un papel muy importante para mí. Debo agradecer al doctor Richard Edwards, de la University of Kentucky, por su experiencia en ergonomía y su ayuda en la escritura del capítulo 6.

Fred E. Meyers

Deseo expresar mi agradecimiento a los colegas y amigos cuya ayuda y guía generosas hicieron una realidad de esta edición de *Diseño de instalaciones industriales y manejo de materiales*. En particular, me gustaría agradecer a Eric Freeman, David Kohrman, Rick Milanowski, Keith Niechwiej, Jason Simpson y Joe Witkiewicz, por el esfuerzo que dedicaron al desarrollar el proyecto *Shade Tree Grill*. También quiero dar las gracias a Mark Franco por su experiencia en el área de ISO 9000, y a Melissa Woods por su invaluable apoyo en la investigación necesaria. El agradecimiento más especial es para ti, Christine, por tu amor y ánimo.

Matthew P. Stephens

Acerca de los autores

Fred E. Meyers, PE, es presidente de Fred Meyers and Associates, compañía consultora en administración de la ingeniería industrial. El señor Meyers es ingeniero industrial registrado, miembro destacado del Institute of Industrial Engineers, y tiene 35 años de experiencia en su disciplina. Ha trabajado para Caterpillar Tractor Co., para la división aerospacial de Boeing, Mattel Toy Co. y Times Mirror Corporation; para la división de Herramientas Proto de Ingersol-Rand, y para la división del club de golf de Spaulding. Ejerció la docencia durante 20 años en la Southern Illinois University-Carbondale, en su Colegio de Ingeniería, al mismo tiempo que iniciaba y operaba su negocio de consultoría. Fue director de investigación aplicada y profesor asociado. Como consultor, el señor Meyers ha trabajado para más de 100 compañías, y ha sido responsable de la instalación de sistemas de incentivos, sistemas de control del desempeño, distribuciones de planta y lanzamiento y sistemas de estimación de costos de productos nuevos. Ha laborado en manufactura de equipo pesado, industria aerospacial, productos de consumo, manufactura de aparatos, madera, conglomerados, papel, mezclado y empacado de aceites, muebles, herramientas, fibra de vidrio y en muchas otras áreas. Esta variedad de actividades le ha dado una experiencia en la distribución de planta que sólo unas cuantas personas pueden igualar.

Fred E. Meyers ha enseñado la distribución de planta a más de 60 grupos, incluso a ingenieros y administradores profesionales, personal sindicalizado y estudiantes universitarios. Ha impartido seminarios en la National Association of Industrial Technology, en muchas plantas industriales, varias bases de la Fuerza Aérea y la Marina y sindicatos estadounidenses. También escribió *Motion and Time Study: For Lean Manufacturing* (Prentice Hall, 1999).

Matthew P. Stephens, Ph. D., CQE, es catedrático del Departamento de Tecnología Industrial de la Purdue University, donde imparte clases en posgrado y licenciatura sobre planeación de instalaciones, control estadístico de la calidad y planeación de la producción. El doctor Stephens posee títulos de licenciatura y posgrado de la Southern Illinois University y de la University of Arkansas, con especialización en administración de operaciones y estadística.

Antes de entrar en la academia, el doctor Stephens pasó nueve años en varias empresas de manufactura y de negocios, inclusive fabricantes de camiones de plataforma y de lavadoras y secadoras. También se ha involucrado en gran escala como consultor de numerosas e importantes compañías de manufactura.

El doctor Stephens tiene varias publicaciones en las áreas de simulación, calidad y productividad, y sistemas esbeltos de producción. Ha prestado sus servicios a varias organizaciones profesionales, como la National Association of Industrial Technology y la American Society for Quality, de las que es miembro importante e Ingeniero de Calidad Certificado (CQE).

Contenido

Prefacio v
Agradecimientos viii
Acerca de los autores ix

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA Y MANEJO DE MATERIALES 1

LA IMPORTANCIA DEL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA Y MANEJO DE MATERIALES 1
PENSAMIENTO ESBELTO Y MANUFACTURA ESBELTA 4
METAS DEL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA Y MANEJO DE MATERIALES 5
PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA 11
TIPOS Y FUENTES DE LOS PROYECTOS DEL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA 13
LAS COMPUTADORAS Y LA SIMULACIÓN EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA 14
ISO 9000 y la planeación de instalaciones 15
GLOSARIO DE LOS TÉRMINOS IMPORTANTES EN LA PLANEACIÓN DE INSTALACIONES 17
PREGUNTAS 20
PROYECTO EN LA PRÁCTICA 21

CAPÍTULO 2 FUENTES DE INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA 25

EL DEPARTAMENTO DE MARKETING 26
Determinación del tiempo de procesamiento o tasa de la planta 27
Cálculo de las tasas de desperdicio y retrabajo 28
EL DEPARTAMENTO DE DISEÑO DEL PRODUCTO 29
INFORMACIÓN DE LA POLÍTICA DE ADMINISTRACIÓN 38
Política de inventario 39
Pensamiento esbelto y desperdicio como parte de la política de administración 39
Política de inversión 39

Programación del arranque 40
Decisiones de fabricar o comprar 41
Relaciones organizacionales 41
Estudios de factibilidad 41
CONCLUSIÓN 41
PREGUNTAS 43
PROYECTO EN LA PRÁCTICA 45

CAPÍTULO 3 ESTUDIO DE TIEMPOS 50

¿QUÉ ES UN ESTÁNDAR DE TIEMPO? 50
IMPORTANCIA Y USOS DEL ESTUDIO DE TIEMPOS 52
1. ¿Cuántas máquinas se necesitan? 54
2. ¿Cuántas personas se deben contratar? 55
3. ¿Cuánto costará el producto? 57
4. ¿Cuándo se debe comenzar un trabajo, y cuánto trabajo se puede realizar con el equipo y el personal con que se cuenta? O, de otro modo, ¿cómo programar y asignar tareas a las máquinas, centros de manufactura, departamentos y plantas? 59
5. ¿Cómo se determina el balanceo de la línea de ensamble y la velocidad del transportador, se cargan las celdas de manufactura con la cantidad correcta de trabajo, y están balanceadas las celdas de manufactura? 60
6. ¿Cómo se mide la productividad? 61
7. ¿Cómo se pagaría al personal por su excepcional rendimiento? 62
8. ¿Cómo se selecciona el mejor método o se evalúan las ideas para reducir costos? 63
9. ¿Cómo se evalúan las compras de equipo nuevo para justificar la inversión? 65
10. ¿Cómo se desarrolla un presupuesto de personal? 65

TÉCNICAS DEL ESTUDIO DE TIEMPOS 65
Sistemas de estándares predeterminados de tiempo (PTSS) 66
Estudio de tiempos con cronómetro 66
PROCEDIMIENTO DEL ESTUDIO DE TIEMPOS Y SU FORMA PASO A PASO 70
Calificación, nivelación y normalización 79
TOLERANCIAS 81
Tipos de tolerancia 81
Métodos de aplicación de tolerancias 85
Muestreo del trabajo 88
Datos estándares 89
La opinión de los expertos en los estándares de tiempo y los datos históricos 90

ESTÁNDARES DE TIEMPO PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA 91

PREGUNTAS 92

PROYECTO EN LA PRÁCTICA 94

CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL PROCESO 95

FABRICACIÓN: MANUFACTURA DE LAS PARTES INDIVIDUALES 96

Hojas de ruta 96

El número de máquinas necesario 99

TABLA DE CARGAS DE TRABAJO EN LAS CELDAS 101

Procedimiento paso a paso para preparar una tabla de cargas de trabajo en celda de manufactura 105

ANÁLISIS DEL PROCESO DE ENSAMBLE Y EMPAQUE 106

La gráfica de ensamble 106

Estándares de tiempo para cada tarea 106

Tasa de producción de la planta y velocidad del transportador 107

Velocidad del transportador de pintura 108

Balanceo de la línea de ensamble 109

PROCEDIMIENTO PASO A PASO PARA ELABORAR EL FORMATO DE BALANCEO DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE 112

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE 120

Uso de la simulación en computadora 120

ORIENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN 124

PREGUNTAS 124

PROYECTO EN LA PRÁCTICA 126

CAPÍTULO 5 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE FLUJO 136

FABRICACIÓN DE PARTES INDIVIDUALES 140

Diagrama de cuerdas 140

Tabla de proceso de columnas múltiples 142

Tabla de origen-destino 144

Tabla del proceso 146

Descripción paso a paso para la tabla del proceso 148

FLUJO TOTAL DE LA PLANTA 152

Diagramas de flujo 152

Procedimiento paso a paso para desarrollar un diagrama de flujo 155

La gráfica de operaciones 156

Procedimiento paso a paso para preparar una gráfica de operaciones 156

Gráfica de flujo del proceso 158

Procedimiento paso a paso para preparar una gráfica de flujo del proceso 162
DISEÑO Y ANÁLISIS DE FLUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA 162
CONCLUSIÓN 165
PREGUNTAS 165
PROYECTO EN LA PRÁCTICA 169

CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DE ACTIVIDADES 180

DIAGRAMA DE LA RELACIÓN DE ACTIVIDADES 181
Determinación del código de relación 183
HOJA DE TRABAJO 185
DIAGRAMA ADIMENSIONAL DE BLOQUES 185
ANÁLISIS DE FLUJO 188
TABLA DE RELACIÓN DE ACTIVIDADES GENERADA POR COMPUTADORA 188
PREGUNTAS 194
PROYECTO EN LA PRÁCTICA 196

CAPÍTULO 7 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO Y ERGONOMÍA EN EL DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE MANUFACTURA 203

DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE MANUFACTURA 203
LA ERGONOMÍA Y LOS PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA DE MOVIMIENTOS 206
Principio 1: movimientos de la mano 209
Principio 2: tipos básicos de movimiento 211
Principio 3: ubicación de las partes y las herramientas 212
Principio 4: liberar las manos de tanto trabajo como sea posible 215
Principio 5: gravedad 215
Principio 6: consideraciones sobre la seguridad y la salud del operario 217
DETERMINACIÓN DE ESPACIOS 218
PREGUNTAS 222

CAPÍTULO 8 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO DE LOS SERVICIOS AUXILIARES 223

RECEPCIÓN Y ENVÍOS 223
Ventajas y desventajas de la recepción y los envíos centralizados 223
Efecto de la industria camionera en la recepción y el envío 224
Funciones del departamento de recepción 225

Instalaciones requeridas por el departamento de recepción 227
Requerimientos de espacio del departamento de envíos 228
Funciones del departamento de envíos 229
Requerimientos de espacio del departamento de envíos 232
ALMACENAMIENTO 235
Inventarios justo a tiempo 237
Maximizar el uso del espacio volumétrico 237
Proporcionar acceso inmediato a todo (selectividad) 239
Proporcionar almacenamiento seguro 248
GUARDAR EN BODEGAS 248
Criterios de diseño de bodegas 249
Funciones de una bodega 251
Procedimiento para análisis de venta con inventarios ABC 252
Distribución de un inventario ABC de una compañía manufacturera de herramientas de mano 253
Determinación del espacio de bodega 256
Equipo para bodegas 258
Conclusión 258
CUARTO DE MANTENIMIENTO Y HERRAMIENTAS 259
INSTALACIONES, CALEFACCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE 261
PREGUNTAS 261

CAPÍTULO 9 SERVICIOS PARA EMPLEADOS: REQUERIMIENTOS DE ESPACIO 264

ESTACIONAMIENTOS 264
ENTRADA PARA EMPLEADOS 266
CUARTOS DE CASILLEROS 268
EXCUSADOS Y SANITARIOS 269
CAFETERÍAS O COMEDORES 270
INSTALACIONES RECREATIVAS 274
BEBEDEROS 275
PASILLOS 275
INSTALACIONES MÉDICAS 276
ÁREAS DE DESCANSO Y ESPERA 277
PREGUNTAS 279
PROYECTO EN LA PRÁCTICA 280

CAPÍTULO 10 MANEJO DE MATERIALES 287

JUSTIFICACIÓN DEL COSTO 288
Problema modelo del costo de manejo de materiales 289

OBJETIVOS DEL MANEJO DE MATERIALES 290
VEINTE PRINCIPIOS DEL MANEJO DE MATERIALES 290
1. Principio de planeación 291
2. Principio de los sistemas 292
3. Principio del flujo de materiales 292
4. Principio de simplificación 292
5. Principio de gravedad 293
6. Principio de la utilización del espacio 293
7. Principio del tamaño unitario 294
8. Principio de mecanización 295
9. Principio de automatización 295
10. Principio de selección del equipo 295
11. Principio de estandarización 297
12. Principio de adaptabilidad 298
13. Principio del peso muerto 298
14. Principio de utilización 298
15. Principio de mantenimiento 298
16. Principio de obsolescencia 299
17. Principio de control 299
18. Principio de capacidad 299
19. Principio del rendimiento 300
20. Principio de seguridad 300
PROCEDIMIENTO DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE MANEJO DE MATERIALES 301
PREGUNTAS 306

CAPÍTULO 11 EQUIPO PARA EL MANEJO DE MATERIALES 307

RECEPCIÓN Y ENVÍO 308
Plataformas de recepción y envío 308
Equipo para plataformas 310
Equipo para mover 312
Transportador telescópico 320
Básculas 322
Sistemas requeridos en las plataformas de recepción y envío 323
ALMACENES 323
Unidades de almacenamiento 323
Equipo móvil para almacenes 327
Sistemas requeridos para el departamento de almacenes 333
FABRICACIÓN 336
Contenedores de piezas 336
Tinas y cestas 336

Dispositivos de la estación de manufactura para manejo de materiales 340
Dispositivos manipuladores y elevadores 343
Equipo móvil para fabricación 351
ENSAMBLADO Y PINTURA 359
Transportadores sin fin 360
Transportadores de rodillos energizados 360
Transportadores tipo carro 360
Transportadores de tablillas 361
Transportadores de remolque 363
Transportadores elevados de vagonetas 364
Transportadores con fuerza y libertad 366
EMPAQUE 366
Armadores de cajas 367
Doblado, pegado y engrapado automáticos 367
Apiladores 368
Robots para tomar y colocar 368
Bandeo 372
Envoltura ajustada 373
EMBODEGAR 372
Carros recolectores 373
Contenedores de flujo por gravedad 373
Carros recolectores tipo tractor-camión 374
Vehículos de abrazaderas 374
Transportadores rotatorios de contenedores 375
Bodega vertical y carros recolectores 375
Estación de empaque 376
Contenedores de envío 376
MANEJO DE MATERIALES A GRANEL 377
Transportadores de material a granel 378
Bombas y tanques 380
SISTEMAS INTEGRADOS POR COMPUTADORA PARA MANEJO DE MATERIALES 385
Plataforma-plataforma y flujo directo 389
PREGUNTAS 392
PROYECTO EN LA PRÁCTICA 394

CAPÍTULO 12 TÉCNICAS DE DISTRIBUCIÓN DE OFICINAS Y REQUERIMIENTOS DE ESPACIOS 399

METAS DEL DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE OFICINAS 399
TIPOS DE ESPACIO DE OFICINAS 400
Oficinas de los supervisores 401

Espacio abierto de oficinas 401
Oficinas convencionales 404
La oficina moderna 404
REQUERIMIENTOS Y CONSIDERACIONES ESPECIALES 407
TÉCNICAS DE DISTRIBUCIÓN DE OFICINAS 412
Organigrama 413
Diagrama de flujo 414
Diagrama de fuerzas de las comunicaciones 414
Diagrama de relación de actividades 418
Hoja de trabajo de actividades 419
Diagrama adimensional de bloques 419
Determinación del espacio de oficinas 422
Distribución maestra detallada 423
PREGUNTAS 425

CAPÍTULO 13 ASIGNACIÓN DE ÁREAS 426

PLANEACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE ESPACIO 426
Bajo el piso 428
Áreas elevadas o de espacio libre 428
Nivel de las trabes 429
Azotea 429
DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DEL EDIFICIO 429
DIAGRAMA ADIMENSIONAL DE BLOQUES 430
PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN DE ÁREAS 430
ASIGNACIÓN DE ÁREAS DE OFICINAS 432
PREGUNTAS 436

CAPÍTULO 14 DISEÑO DE INSTALACIONES: LA DISTRIBUCIÓN 437

PLANO DEL PLAN 437
Métodos de distribución de la planta 440
Método de la pantalla y la cinta para diseñar instalaciones 440
PLAN MAESTRO 440
Modelos tridimensionales (3D) 446
Técnica del diseño asistido por computadora (CAD) 446
Sistemas avanzados de cómputo 446
PROCEDIMIENTO DE DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA: PLANTA DE CAJAS DE HERRAMIENTAS 450
Distribución de oficinas para la planta de cajas de herramientas 453
EVALUACIÓN 455

PREGUNTAS 459
PROYECTO EN LA PRÁCTICA 460

CAPÍTULO 15 APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN Y MODELADO EN COMPUTADORA 466

INTRODUCCIÓN 466
DEFINICIÓN DE LA SIMULACIÓN EN COMPUTADORA 467
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA SIMULACIÓN 468
LA SIMULACIÓN EN LA PLANEACIÓN DE INSTALACIONES 468
CÓMO FUNCIONA LA SIMULACIÓN 469
PANORAMA DEL SOFTWARE DE DISTRIBUCIÓN Y SIMULACIÓN 471
DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN ASISTIDO POR COMPUTADORA 471
Análisis del desempeño de la distribución asistido por computadora 474
ESTUDIOS DE CASO 477
La simulación en la manufactura 478
La simulación en el cuidado de la salud 478
La simulación en el manejo de desechos 480
PREGUNTAS 480

CAPÍTULO 16 VENDER LA DISTRIBUCIÓN 481

EL INFORME DEL PROYECTO 481
LA PRESENTACIÓN 483
AJUSTES 484
APROBACIÓN 484
EL RESTO DEL PROYECTO 484
Aprovisionamiento 485
Instalación 485
Ingeniería piloto 485
Inicio de la producción 486
Depuración y seguimiento 486
CONCLUSIÓN 486

RESPUESTAS 489
ÍNDICE 501

Ut in unum glorificatur Deus

CAPÍTULO

1

Introducción al diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales

LA IMPORTANCIA DEL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA Y MANEJO DE MATERIALES

El diseño de las instalaciones de manufactura y manejo de materiales afecta casi siempre a la productividad y a la rentabilidad de una compañía, más que cualquiera otra decisión corporativa importante. La calidad y el costo del producto y, por tanto, la proporción de suministro/demanda se ve afectada directamente por el diseño de la instalación. El proyecto de distribución de la planta (diseño de la instalación) es uno de los más desafiantes y gratificantes que un ingeniero industrial o de manufactura pueda enfrentar. El ingeniero de proyecto o, en un nivel más elevado, el gerente de proyectos, después de recibir la aprobación corporativa, será responsable de gastar una gran cantidad de dinero. En cuanto a los costos, también se responsabilizará al gerente de proyectos por alcanzar oportuna y eficazmente las metas enunciadas en la propuesta del proyecto y en el presupuesto de los costos. Las responsabilidades de un gerente de proyectos se parecen a las del presidente de la compañía, y sólo los gerentes de proyectos que alcancen o superen las metas establecidas recibirán proyectos más grandes.

El **diseño de instalaciones de manufactura** se refiere a la organización de las instalaciones físicas de la compañía con el fin de promover el uso eficiente de sus recursos, como personal, equipo, materiales y energía. El **diseño de instalaciones** incluye la ubicación de la planta y el diseño del inmueble, la distribución de la planta y el manejo de materiales. La ubicación de la planta o las decisiones de la estrategia de localización se toman en el nivel corporativo más alto, con frecuencia por razones que tienen poco que ver con la eficiencia o eficacia de la operación, pero en las que hasta cierto grado influyen factores como la

proximidad de las fuentes de materias primas, mercados y sistemas de transporte tales como vías fluviales, ferrocarriles y carreteras. La selección del sitio quizá sea un tema más apropiado para una clase de ciencias políticas que para una de diseño de instalaciones. Cada país, estado, municipio y ciudad cuenta con un programa de desarrollo económico para atraer industrias nuevas. Los incentivos financieros para atraer una compañía hacia una localidad específica pueden ser muy notables. Por lo tanto, la ubicación no siempre es una decisión de ingeniería. Otra razón, que no tiene que ver con la ingeniería, para ubicar las instalaciones en sitios específicos puede ser de tipo personal. El presidente de la empresa es de cierta ciudad, por lo que es ahí donde se construirá la instalación. En un capítulo posterior se estudiará la localización de la planta.

El diseño del inmueble es un trabajo arquitectónico, por lo que para el proyecto de diseño de las instalaciones tiene importancia extrema la experiencia del despacho de arquitectos en cuanto al diseño de edificios y técnicas de construcción. La compañía arquitectónica reportará al gerente del proyecto de diseño de las instalaciones.

La *distribución* es el arreglo físico de máquinas y equipos para la producción, estaciones de trabajo, personal, ubicación de materiales de todo tipo y en toda etapa de elaboración, y el equipo de manejo de materiales. La distribución de la planta es el resultado final del proyecto de diseño de la instalación de manufactura, y es el tema principal de este libro. Además de la necesidad de desarrollar nuevas instalaciones de fabricación, las plantas ya existentes experimentan cambios continuos. En promedio, cada 18 meses ocurren redistribuciones importantes en las plantas, como resultado de modificaciones en el diseño del producto, métodos, materiales y proceso.

El *manejo de materiales* se define sencillamente como mover material. Las mejoras en el **manejo de materiales** han tenido un efecto positivo sobre los trabajadores más que cualquier otra área de diseño del trabajo y la ergonomía. En la actualidad, los trabajos físicos pesados se han eliminado de las tareas manuales gracias a los equipos para el manejo de materiales. Cada gasto que se haga en el negocio debe justificar su costo, y el equipo para manejar materiales no es la excepción. El dinero para pagar dicho equipo debe provenir de las disminuciones en mano de obra, materiales o costos indirectos, y los gastos deben recuperarse en dos años o menos [con 50 por ciento de rendimiento sobre la inversión (ROI, por las siglas de return of investment) o más]. En los capítulos 10 y 11 se estudiarán los sistemas de manejo de materiales, sus procedimientos y equipos. El manejo de materiales está tan involucrado con la distribución física del equipo que, en la práctica, es usual tratar los dos temas, planeación de las instalaciones y manejo de materiales, como uno solo. Como resultado, el manejo de materiales es parte de casi todas las etapas del proceso de diseño de una instalación y la selección del equipo para ese manejo afectará la distribución.

La construcción de una nueva planta de manufactura siempre es uno de los gastos más grandes que puedan ser emprendidos por una compañía, y la distribución afectará a los empleados durante los años por venir. El costo de los productos de la planta también se verá afectado. Serán necesarias mejoras continuas para mantener a la compañía actualizada y competitiva. A lo largo de todo el texto se analizará la necesidad de la mejora continua y la implantación de conceptos de manufactura esbelta.

Se dice que si se mejora el flujo del material, en forma automática se reducen los costos de producción. Entre más corto es el flujo a través de la planta, mayor es la reducción de costos. El manejo de materiales ocasiona, aproximadamente, el 50 por ciento de todos los accidentes, y entre el 40 y el 80 por ciento de todos los costos de operación. El costo del equipo también es elevado, pero puede obtenerse un ROI apropiado. Hay que recordar que muchos problemas industriales pueden eliminarse con equipo de manejo de materiales. En

ningún área de la historia industrial se han obtenido más mejoras que con el uso de equipo de manejo de materiales. Hoy día, es posible incorporar con facilidad sistemas de manejo de materiales con tecnologías de punta en los equipos para capturar datos en forma automática, y en sistemas de inspección automática con varios propósitos de calidad y productividad. Como parte de los procedimientos para manejar materiales, pueden implementarse sistemas de rastreo de las unidades y de control de inventarios.

La **fórmula de reducción de costos** es valiosa cuando se trabaja en el diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales. A continuación se presentan algunos ejemplos de fórmula de reducción de costos:

Pregunta	*Para todo*	*Por tanto se puede*
¿Por qué?	Operación	Eliminar
¿Quién?	Transporte	Combinar
¿Qué?	Inspección	Cambiar la secuencia
¿Dónde?	Almacenamiento	Simplificar
¿Cuándo?	Retraso	
¿Cómo?		

Los planeadores de las instalaciones hacen las seis preguntas (columna 1) acerca de todo lo que pueda suceder a un elemento que fluya a través de la instalación manufacturera (columna 2) para eliminar etapas, combinarlas, cambiar su secuencia o simplificarlas (columna 3). Esto requiere estudiar a profundidad los productos de la compañía con el fin de identificar cada etapa del proceso. El mejor consejo es no tomar atajos o saltarse etapas en el procedimiento de diseño de la instalación de manufactura. Existen muchas herramientas y técnicas que ayudan a identificar las etapas del proceso. Éstas se describen con detalle en las secciones siguientes.

Implantar los cinco (5) principios y los cinco porqués también ayudará a reducir los costos. Los **cinco principios** son los siguientes:

1. *Sacar sólo lo necesario (organización).* Mantener el mínimo de lo que se requiere ahorrará espacio (afecta a la distribución de instalaciones), inventario y dinero.
2. *Acomodar (arreglo).* Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar es una filosofía visual de administración que afecta a la distribución de la instalación.
3. *Barrer (limpieza).* Una planta limpia es resultado de una distribución de la instalación pensada para dar un lugar a todo.
4. *Limpiar y ordenar (higiene).* Una planta segura es resultado de una buena planeación de la distribución.
5. *Ser estrictos (disciplina).* Seguir procedimientos y métodos estandarizados hasta convertirlos en hábitos hará que la planta opere de manera eficiente y segura.

Los **cinco porqués** garantizarán que la solución de un problema no sea síntoma de éste, sino su causa básica. Por ejemplo: una máquina falló.

1. ¿Por qué?
2. La máquina se atascó. ¿Por qué?
3. La máquina no se limpió. ¿Por qué?
4. El operador no la limpió a intervalos regulares. ¿Por qué?
5. ¿Fue debido a la falta de capacitación? ¿Por qué?

6. Los supervisores lo olvidaron. Habían elaborado instrucciones por escrito que debían montarse en la máquina. No volverá a pasar.

Los planeadores podrían haber preguntado seis o siete porqués. La cuestión importante es llegar a una solución final que evite que el problema ocurra otra vez.

PENSAMIENTO ESBELTO Y MANUFACTURA ESBELTA

En los últimos años se ha desarrollado un vocabulario nuevo, proveniente del **sistema de producción Toyota** y de un libro titulado *Lean Thinking*, de James Womack y Daniel Jones. La **manufactura esbelta** es un concepto mediante el cual todo el personal de producción trabaja en conjunto con el fin de eliminar el desperdicio. Los ingenieros industriales, tecnólogos de la industria, y otros grupos dentro de la administración, han estado intentando lo anterior desde el comienzo de la revolución industrial, pero con el advenimiento de una fuerza de trabajo de producción bien educada y motivada, la administración moderna de la manufactura ha descubierto las ventajas de buscar ayuda en la eliminación del desperdicio. El término japonés para desperdicio es *muda*, que es el gran centro de atención en todo el mundo. ¿Quién sabe mejor que el empleado de producción —que pasa ocho horas diarias en su trabajo— cómo reducir el desperdicio? El objetivo es aprovechar este recurso dando a los empleados de producción las mejores herramientas disponibles.

Muda (desperdicio) se define como cualquier gasto que no ayuda a producir valor. Hay **ocho clases de muda:** sobreproducción, desperdicio, transporte, procesamiento, inventario, movimiento, repeticiones, y utilización deficiente del personal. La meta es tratar de eliminar o reducir estos costos. Una de las técnicas para lograrlo consiste en preguntar "por qué" cinco veces (cinco porqués). Preguntar el "porqué" de cualquier problema o costo al menos en cinco ocasiones tiene por objeto llegar a la **causa original** del problema.

A los empleados de Toyota se les anima a detener la línea de producción o proceso si existe algún problema. Se coloca un tablero indicador luminoso (llamado ***andon***) sobre la línea de producción. Cuando las operaciones son normales, permanece encendida una luz verde. Una luz amarilla indica que un operador necesita ayuda, y si el operador requiere detener la línea, una luz roja centellea. Se acuñó el término **autonomización** (***jidoka***) para indicar la transmisión del elemento humano a la automatización. Un ejemplo de lo anterior es la detención de una línea de producción hecha por un trabajador que detecta un problema.

En la cultura de la mejora continua, ***kaizen*** es otra herramienta efectiva que puede aplicarse con facilidad a aspectos diferentes de la planeación de instalaciones y manejo de materiales. *Kaizen* es la palabra japonesa para *mejora constante* o *continua*. El elemento principal de *kaizen* es la gente involucrada en el proceso de mejora. *Kaizen* incluye a todos los niveles de la organización y requiere de la participación de todos los empleados —desde la alta dirección hasta los distintos niveles del organigrama y los equipos de producción. Se anima a cada persona de la compañía a buscar nuevas ideas y oportunidades para mejorar aún más la organización y sus procesos, incluso la reducción del desperdicio.

Uno de los requerimientos de *kaizen* que resulta particularmente efectivo, es la necesidad de comenzar las mejoras de inmediato, en vez de esperar hasta que haya un plan espectacular. *Kaizen* difiere de la reingeniería en el nivel de cambio que ocurre a la vez, pues no hay modificaciones grandes. Algunos critican *kaizen* porque el proceso realiza sólo mejoras pequeñas a la vez, lo que en algunos casos podría conducir a otros problemas.

Kanban es otra técnica que afecta el diseño de las instalaciones de manufactura. ***Kanban*** es un tablero de señales que comunica la necesidad de material e indica en forma visual al operador que produzca otra unidad o cantidad. El sistema *kanban*, también conocido como sistema que "jala", difiere de los sistemas tradicionales de inventario que "empujan", tales como el justo a tiempo (JIT) o la planeación de requerimientos de materiales (MRP). Con los sistemas que empujan, las partes se producen sólo cuando se necesitan y tienen que ser solicitadas o hay un "jalón" de las operaciones de producción.

El **mapeo de la corriente de valor (MCV)** es una herramienta importante para mejorar la productividad y la reducción del desperdicio que una organización puede emplear para evaluar sus procesos. El *mapeo de la corriente de valor* se define como el proceso de evaluación de cada componente o etapa de la producción, con fin de determinar el grado en que contribuye a la eficiencia operacional o a la calidad del producto. El mapeo de la corriente de valor se vincula claramente con la manufactura esbelta y es uno de sus componentes importantes. Con el uso de las herramientas y los recursos del MCV, una compañía puede documentar y desarrollar el flujo de información y material a través del sistema como una ayuda para eliminar las operaciones o componentes sin valor agregado, reducir los costos y efectuar las mejoras necesarias. Este proceso de mejora continua pasa por tres etapas repetitivas: evaluación, análisis y ajuste. A lo largo de éstas se efectúan cambios y modificaciones con el fin de mejorar aún más el proceso y eliminar el desperdicio.

Son numerosas las ventajas de usar el mapeo de la corriente de valor. Éstas incluyen la elevación de la rentabilidad, la eficiencia y la productividad de la compañía o institución. En particular, en el diseño de instalaciones y manejo de materiales, el MCV reduce o elimina en forma evidente el exceso de manejo de materiales, elimina espacios desperdiciados, crea un mejor control de todas las formas de inventarios (p. ej., materias primas, artículos en proceso y bienes terminados), y hace más eficientes varias etapas de la producción.

METAS DEL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA Y MANEJO DE MATERIALES

El conjunto correcto de metas garantiza un diseño exitoso de las instalaciones. Sin metas, los planeadores de las instalaciones se encuentran sin dirección y el primer paso es el enunciado de la misión principal. Un enunciado de misión bien pensado asegura que el ingeniero o gerente de proyectos y la dirección de la empresa comparten las mismas visiones y objetivos. También abre líneas de comunicación entre la dirección y el diseñador: la retroalimentación y los cambios sugeridos en esta etapa temprana ahorran mucho trabajo e incluso dolores de cabeza posteriores.

Un **enunciado de misión** comunica las metas primarias y la cultura de la organización al planeador de las instalaciones. El enunciado de misión define el propósito para el cual existe la empresa. El enunciado debe ser suficientemente breve para que su esencia no se pierda y sea recordado con facilidad, y debe ser intemporal, de modo que se adapte con facilidad a los cambios organizacionales. En su mayor parte, el enunciado de misión consiste en una declaración filosófica que establece el tono cultural de la organización. La misión de una corporación va más allá de las expectativas de utilidades y rentabilidad para sus accionistas; como miembro de la sociedad, pugna por expandir dichos beneficios a sus consumidores y empleados. Una compañía podría enunciar su misión de la forma siguiente: "ACME busca fabricar las bicicletas más seguras, más confiables y de la mejor calidad, al

mismo tiempo que mantiene el precio más bajo posible y la dedicación más intensa a la satisfacción del cliente. ACME reconoce que nuestra misión sólo puede alcanzarse con la dedicación completa de nuestros empleados".

Aunque el enunciado de misión es desarrollado por la dirección corporativa, proporciona una señal clara y una guía luminosa para el desarrollo de estrategias en todos los niveles de actividad de la empresa, inclusive el diseño de las instalaciones físicas. Por ejemplo, un enunciado de misión que indique una dedicación fuerte al desarrollo y la capacitación de los empleados, comunica la necesidad de instalaciones propicias para ello en el diseño conjunto de la distribución de la planta.

Las metas y los objetivos de la producción en consistencia con la misión de la corporación pueden deducirse del enunciado de ésta.

Se agregan submetas para ayudar a alcanzar metas específicas. Las metas potenciales podrían incluir las siguientes:

1. Minimizar los costos unitarios y del proyecto.
2. Optimizar la calidad.
3. Promover el uso eficaz de *a*) el personal, *b*) el equipo, *c*) el espacio, y *d*) la energía.
4. Proporcionar a los empleados *a*) conveniencia, *b*) seguridad, y *c*) comodidad.
5. Controlar los costos del proyecto.
6. Alcanzar la fecha de inicio de la producción.
7. Dar flexibilidad al plan.
8. Reducir o eliminar los inventarios excesivos.
9. Alcanzar varias metas.

Un enunciado de misión debe ser sencillo y usarse para mantener encarrilado al planeador de las instalaciones y auxiliarlo en todas las decisiones del proyecto. Como planeador, su meta es proporcionar un número específico de unidades de calidad por periodo de tiempo al costo más bajo posible —no demostrar su conocimiento avanzado de la manufactura o tener un lugar para lucir sus computadoras y robots. El enunciado intenta recordarle que permanezca en el camino y ayudarle en su toma de decisiones durante el proceso.

A continuación se echará un vistazo más cercano a las submetas:

1. *Minimizar los costos unitarios y del proyecto.* Esto significa que cada dólar gastado sobre el método más económico de la producción, debe justificar su costo. *No* significa comprar la máquina más barata porque la más cara produciría el costo unitario más bajo. Cuando los productos son nuevos, el volumen de producción puede ser bajo. No se puede gastar mucho en tecnología avanzada de manufactura, pero aun se necesita equipo. Entonces es cuando compra la más barata disponible.

2. *Optimizar la calidad.* La calidad es crítica y difícil de medir. Todos saben que se encuentra disponible un carro casi perfecto —el Rolls-Royce—, pero ¿cuántos pueden venderse? Usted podría hacer un producto mejor si comprara materiales mejores, usara tolerancias más estrechas para las máquinas y agregara opciones adicionales, entre otras medidas. Pero, ¿habría mercado suficiente para este artículo de alta calidad y elevado costo?

La producción en masa es posible gracias a que proporciona productos a los que las multitudes pueden tener acceso. Esto propicia la disminución de la resistencia de diseño del material, el costo de la producción y, por tanto, de la calidad real del producto terminado. La alta dirección de la industria automotriz podría enunciar esto como un estándar de calidad:

> Diseñaremos un automóvil utilitario que durará lo suficiente para recorrer 160,000 kilómetros. Si quisiéramos una calidad mayor, ¿por qué no diseñarlo para 320,000 kilómetros? El costo es el "porqué". ¿Cuánta gente podría adquirir este automóvil más costoso?

Una vez establecido el criterio de diseño, los expertos diseñarán cada parte con esos objetivos en mente. Con más claridad, podrían establecer que el 95 por ciento de los autos durarán 160,000 kilómetros o más. Por tanto, el promedio sería más alto, pero cualquier costo que se dedique a crear cualquier parte de mejor calidad será dinero mal gastado. Los diseñadores de instalaciones de manufactura luchan por satisfacer los criterios de diseño mediante la selección de equipo, el diseño de estaciones de trabajo y el establecimiento de métodos para trabajar que produzcan partes y ensambles de calidad. La calidad y el costo son los dos principales frentes competitivos. Controlar uno sin el otro llevará al fracaso. Usted debe balancear en forma constante el costo y la calidad. En el diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales, el planeador debe tomar en cuenta la calidad en cada fase, y no hacer nada para que ésta disminuya. Debe proveerse espacio para las instalaciones de control de calidad.

3. *Promover el uso eficaz de personal, equipo, espacio y energía.* Ésta es otra manera de decir "reducir costos" o "eliminar muda". Personal, equipo, espacio y energía son los recursos de una compañía. Son caros y quiere usarlos con eficiencia. La productividad es una medida del uso y es la razón de la salida a (dividida entre) la entrada. Para incrementar la productividad, necesita aumentar la salida, reducir la entrada o hacer una combinación de ambas. La ubicación de servicios tales como sanitarios, salas para casilleros (*lockers*), cafeterías, almacenes de herramientas y otros servicios, afectará la productividad de los empleados y, por tanto, la utilización o eficiencia de éstos. Se dice que puede estirarse el tubo y el alambre, pero no a las personas. Proporcionar ubicaciones convenientes para los servicios incrementará la productividad.

El equipo puede ser muy caro y los costos de operación deben recuperarse cargando a cada parte producida en una máquina una porción del costo. Entre más partes se trabajen en una máquina, menor es el costo unitario asignado a cada una de ellas. Entonces, para alcanzar el segundo objetivo principal, es decir, reducir el costo, debe lucharse por obtener tanto como sea posible de cada máquina. Calcule cuántas máquinas se requieren al principio para su máximo uso. Recuerde, la localización de la maquinaria, el flujo de los materiales, el manejo de éstos y el diseño de las estaciones de trabajo, todos, afectan, el uso del equipo.

El espacio también es costoso, por lo que los diseñadores necesitan promover su uso efectivo. Los procedimientos correctos para la distribución de las estaciones de trabajo incluirán todo lo que se requiere para la operación de éstas, pero no espacio adicional. Es normal que los planeadores hagan una buena labor respecto del uso del espacio de trabajo, pero, ¿qué pasa con las demás zonas?

a. El subsuelo (sótanos) es un buen lugar para túneles de maquinaria, corredores entre edificios, bandas subterráneas para distribuir materiales o retirar la basura, y tanques de almacenamiento bajo el piso. Utilice su imaginación y ahorre espacio de trabajo costoso.
b. Las partes superiores (de 2.30 metros a las vigas del techo) son espacios útiles. Éstos pueden usarse para bandas elevadas, literas, *mezzanines*, repisas o tambos para almacenar, oficinas elevadas, sistemas neumáticos de distribución, secadoras y hornos, entre otros. De nuevo, use su imaginación y ahorrará espacio de trabajo.

c. El espacio superior abajo del techo (en las vigas o trabes) puede usarse para herramientas, calefacción y enfriamiento, sistemas contra incendios, pasillos para caminar gateando, y ciertos almacenamientos.
d. Sobre el techo, el espacio puede utilizarse para estacionamientos, para probar productos si fuera el caso, como unidades de utilería, hornos, golf, canchas de tenis, etcétera.

Como se dijo, los diseñadores desean promover el uso de *todo* el espacio de la planta. Este concepto se conoce como "utilización del cubo de construcción". Consiste en utilizar las dimensiones verticales de la instalación tanto como las horizontales. No hay que olvidar que mientras la tierra se compra con base en unidades cuadradas, el espacio se obtiene en unidades cúbicas. Muchas veces la administración solicita a la ingeniería industrial que ayude a justificar más espacio de construcción, y después del estudio inicial se encuentra que hay espacio en abundancia con sólo recurrir al vertical. El espacio de piso concentra la mayor atención, pero existe mucho más espacio disponible. Los planeadores deben usar su imaginación y crear espacio, centrándose, en primer lugar, en usar el ya existente de un modo más eficiente.

Los costos de la energía pueden ser excesivos: son comunes los presupuestos de millones de dólares para la operación. Usted puede promover el uso eficiente de la energía por medio de técnicas apropiadas de diseño de instalaciones. La apertura de las puertas de los andenes permite que escape la energía de la calefacción y el aire acondicionado. Colocar el equipo caliente donde sea posible aislar la energía, podría reducir los requerimientos de ésta. Un ejemplo "extremo" sería mantener en funcionamiento el aire acondicionado mientras se tiene fuego en la chimenea; sin embargo, esto es lo que se hace todo el tiempo en las instalaciones de manufactura. Aislar éstas y controlar el calor puede ahorrar mucho dinero. Otro ejemplo es que el calor asciende, por lo que las secadoras podrían colocarse cerca del techo a fin de reducir el calor que necesitan. Electricidad, gas, agua, vapor, aceite y teléfono deben ser utilizados con eficiencia. La distribución de la planta influye mucho en estos costos.

4. *Proporcionar a los empleados conveniencia, seguridad y comodidad.* Aunque ya se habló de la conveniencia, además de ser un factor de la productividad, también es tema de las relaciones laborales. Si usted diseña plantas con servicios inconvenientes para los empleados, les está diciendo todo el tiempo que la compañía no se preocupa por ellos. Las fuentes de sodas, el diseño y la ubicación de estacionamientos, las entradas de empleados, así como sanitarios y cafeterías deben ser convenientes para todos los trabajadores.

La seguridad de los empleados es una responsabilidad moral y legal del diseñador de instalaciones de manufactura. Elementos que afectan su seguridad son el peso de las herramientas y los productos, el ancho de pasillos, el diseño de estaciones de trabajo y la limpieza del lugar. Toda decisión que se tome al diseñar instalaciones de manufactura y manejo de materiales debe incluir consideraciones y consecuencias en la seguridad. El equipo de manejo de materiales ha reducido las exigencias físicas del trabajo y, por tanto, ha mejorado la seguridad industrial.

Pero el equipo para manejar materiales puede ser peligroso por sí mismo. Las estadísticas de seguridad industrial indican que el 50 por ciento de todos los accidentes industriales ocurren en los andenes de embarque y recepción, mientras se manipulan materiales. Los diseñadores deben continuar la lucha para reducir las lesiones con todos los medios a su alcance.

La limpieza del lugar significa tener un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar. La expresión "cada cosa" incluye todo —herramientas, materiales, insumos, contenedores vacíos, residuos, basura, etcétera. Si el diseño de las instalaciones de manufactura no considera cada uno de estos conceptos, habrá un problema en la limpieza y este hacinamiento es peligroso y costoso.

"Comodidad" es un término que podría sugerir ambientes afelpados y costosos, pero en cuanto al diseño de estaciones de trabajo y ergonomía hace alusión a trabajar a la altura correcta, con iluminación suficiente y levantarse o sentarse en forma alternada, entre otros factores. Usted no quiere cansar de más al operario. Si los trabajadores se encuentran en un receso, es deseable proporcionarles un ambiente agradable, de modo que puedan recuperarse y regresar al trabajo frescos y, por tanto, más productivos.

5. *Controlar los costos del proyecto.* El costo del diseño de las instalaciones y proyecto del manejo de materiales debe determinarse antes de presentar el plan a la dirección para que lo apruebe. La alta administración aprueba "dedicar dinero a". El gerente responsable queda autorizado a gastarlo una vez que se aprueba. Solicitar más dinero podría ser perjudicial para su trayectoria. Presupuestar y después funcionar con el presupuesto son dos cosas que los administradores e ingenieros exitosos aprenden a hacer en una fase temprana de sus carreras.

6. *Alcanzar la fecha de inicio de la producción.* La fecha de arranque de la producción se establece en una etapa temprana del ciclo de vida del producto. El éxito del proyecto depende de que el producto entre a tiempo al mercado. Así, quien planea debe cumplir dichos objetivos. Si hay un comienzo tardío, los empleados quizá no puedan hacer nada por la producción perdida. Esto es cierto, en especial para productos de temporada, de hecho, si se pierde la estación, se pierde el año entero. Las compañías de productos de circulación rápida para el consumidor, como las empresas jugueteras, fijarán la fecha de inicio de la producción y programarán hacia atrás para establecer un calendario para el producto. La figura 1-1 muestra un calendario como el mencionado. En la primera columna se identifica y lista un suceso importante del proyecto. Las demás columnas se usan para rastrear cada producto. El número del producto, su nombre, y el ingeniero responsable del proyecto en el encabezado de la columna identifican a cada producto. Por ejemplo, la tercera columna se usa para rastrear el producto 1810, conocido como Gizmo. El ingeniero de proyecto para este producto se identifica como Stephens. Para cada producto, la fecha de terminación programada se enlista a través de cada etapa del proyecto. Por ejemplo, para el producto 1810, todos los estándares de tiempo se van a establecer el 5 de abril, que se denota como 4-5. Después de completar cada etapa, se coloca una *X* en seguida de la fecha de término.

En este ejemplo, las etapas 10 y 11 tienen un retraso respecto de lo programado para el producto número 1670, conocido como Wizbang. Observe que la fecha de este reporte es el 11 de marzo. Tanto la etapa 10 como la 11 del producto 1670 iban a concluirse el 10 de marzo, de acuerdo con la fecha programada para la finalización. La falta de la *X* después de la fecha de término programada indica que estas etapas están retrasadas para este producto. Por otro lado, las etapas 5 y 6 están adelantadas respecto de la programación para el producto 1810, como lo indica la presencia de la *X* enseguida de las fechas programadas para finalizar. Note que para este producto la fecha de conclusión que se programó para las etapas 5 y 6 es el 1 de abril, que está adelantada en comparación con la real (la fecha del reporte) del 11 de marzo.

Ingeniero: _____ Fecha: 3/11/XX

1. Obtener el número del producto	1670	1810	1900	1700
2. Crear el nombre del producto	Wizbang	Gizmo		
3. Seleccionar al ingeniero del proyecto	Meyers	Stephens		
4. Determinar la tasa de producción por turno	1,500	1,750		
5. Terminar el plan de manufactura	3-1 X	4-1 X		
6. Concluir el plan de manejo de materiales	3-1 X	4-1 X		
7. Establecer los estándares de tiempo	3-5 X	4-5		
8. Determinar el número de:	3-6 X	4-6		
a. máquinas de fabricación necesarias	3-6 X	4-6		
b. estaciones de ensamble requeridas	3-6 X	4-6		
9. Elaborar el diagrama de flujo	3-10 X	4-10		
10. Diseñar estaciones de trabajo	3-10	4-10		
11. Seleccionar equipo para manejo de materiales	3-10	4-10		
12. Preparar el plan de presupuesto	3-12	4-15		
13. Preparar el plan de distribución	3-14	4-15		
14. Presentación a la dirección	3-15	4-15		
15. Escribir órdenes de trabajo para construir estaciones	3-25	4-15		
16. Emitir órdenes de compra	3-15	4-15		
17. Desarrollar requerimientos de control de calidad	4-1	5-1		
18. Probar las primeras estaciones de trabajo	4-1	5-1		
19. Instalar equipos	4-14	5-14		
20. Escribir láminas de métodos de trabajo	4-14	5-14		
21. Corrida piloto de producción	4-15	5-15		
22. Inicio de la producción	5-1	5-30		
23. Revisar todo				

Nota: la *X* significa que se ha concluido esa etapa.

Figura 1–1 Reporte para el avance del trabajo del producto nuevo que deberá ser llenado por un ingeniero.

Los programas de trabajo, como el que se muestra en la figura 1-1, se utilizan para mantener informada a la alta dirección. Si algo se encontrara retrasado, la administración querrá saber lo que se está haciendo para corregirlo. Si necesitara ayuda, solicítela, pero no pierda la fecha de arranque de la producción. Nunca será demasiado insistir en que los programas *deben* cumplirse.

7. *Dar flexibilidad al plan.* Es seguro que las cosas cambiarán y los diseñadores necesitan anticipar hacia dónde van a expandirse, seleccionar equipo versátil y móvil, y diseñar construcciones que sean capaces de albergar una gran variedad de usos.

8. *Reducir o eliminar los inventarios excesivos.* Los costos de llevar inventario son aproximadamente de 35 por ciento anual para una compañía. Estos costos incluyen lo siguiente:

   a. Costo del espacio y su costo de apoyo.
   b. Costo del dinero inmovilizado en el inventario.
   c. Costo de los empleados que se requieren para mover y administrar el inventario.
   d. Pérdidas por daños, obsolescencia y otras mermas.
   e. Costo del equipo para manejar materiales.

Todos estos costos suman una cantidad importante, por lo que hay que minimizar todas las formas (materias primas, trabajos en proceso, bienes terminados) del inventario.

9. *Alcanzar varias metas.* Aquí se incluyen metas y objetivos adicionales del plan de instalaciones y manejo de materiales. Éstos deben agregarse conforme usted y la dirección decidan que algo es importante. Por ejemplo, tal vez quisiera algo de lo siguiente:

   a. Restringir las veces que el operador sube algo a determinado sitio. Esto requerirá que el diseñador seleccione equipo de manejo de materiales que elimine el levantamiento de cajas por parte del operario a un área de trabajo y fuera de la estación. Esto también redundará en menos problemas por lesiones en la espalda.
   b. Usar celdas de trabajo. Esto reducirá el inventario y el manejo de materiales.
   c. Utilizar equipo que se ensamble y desensamble para permitir a los trabajadores moverlo con facilidad y flexibilidad.
   d. Minimizar el trabajo en proceso porque el inventario es caro.
   e. Imbuir la filosofía *kanban* (tablero de señales o tarjeta de instrucciones) o del inventario justo a tiempo en el diseño de instalaciones de manufactura.
   f. Construir sistemas de administración visual en el diseño, con el fin de mejorar el manejo de la fábrica.
   g. Diseñar sistemas de control de inventarios del tipo primeras entradas-primeras salidas.

Todo lo que piense que es importante y quiera conseguir mediante su diseño de instalaciones nuevas debe establecerse como una meta. Las metas son para alcanzarse pero no siempre para lograrse a la perfección. Sin embargo, sin metas, los diseñadores tienen mucha menos oportunidad de alcanzar lo que quieren. Dos últimos comentarios sobre las metas: deben ser mensurables y asequibles.

PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA

La calidad del diseño de una instalación de manufactura (plano de la distribución de la planta) depende de lo bien que el planeador recolecta y analiza los datos básicos. El plano es la etapa final del proceso de diseño y aquella con la que los novatos en planeación quieren comenzar. Esto es como primero leer la última página de un libro. Resista la tentación de pasar a la fase de distribución antes de reunir y analizar los datos básicos. Si tiene fe y sigue el procedimiento, aparecerá en forma automática, como por arte de magia, un gran diseño. La siguiente es una forma sistemática de pensar en un proyecto.

1. Determinar lo que se producirá; por ejemplo, una caja de herramientas, un estuche de dados o una podadora.
2. Calcular cuántos artículos se fabricarán por unidad de tiempo; por ejemplo, 1,500 por turno de 8 horas.
3. Definir qué partes se fabricarán o comprarán terminadas —algunas compañías adquieren todas las partes y se denominan plantas de ensamble. Las partes que la empresa fabrique requieren equipo de manufactura y una considerable cantidad adicional de trabajo de diseño.
4. Determinar cómo se fabricará cada parte. Esto se denomina *planeación del proceso* y generalmente es realizado por un ingeniero de manufactura, pero en muchos proyectos el diseñador de instalaciones de manufactura también es responsable del diseño de herramientas, equipo y estaciones de trabajo.

5. Determinar la secuencia de ensamblado. Esto se llama *balanceo de la línea de ensamble.* Este tema se trata con profundidad en todo el libro.
6. Establecer estándares de tiempo para cada operación. Es imposible diseñar una distribución de planta sin estándares de tiempo.
7. Determinar la tasa de la planta (**tiempo de procesamiento**). Esto es, qué tan rápido se necesita producir. Por ejemplo, requiere hacer 1,500 unidades en ocho horas (480 minutos), por lo que 480 minutos divididos entre 1,500 unidades son igual a .32 minutos. La velocidad de la planta y de cada operación dentro de ella deben fabricar una parte cada .32 minutos (aproximadamente tres partes por minuto).
8. Calcular el número de máquinas necesarias. Una vez que se conoce la tasa de la planta y el tiempo estándar para cada operación, hay que dividir el tiempo estándar entre la tasa de línea y el resultado es el número de máquinas. Por ejemplo, usted tiene una operación con tiempo estándar de .75 minutos y una tasa de línea de .32 minutos. ¿Cuántas máquinas se necesitan (.75 dividido entre .32 es igual a 2.34 máquinas)? Necesitará comprar tres máquinas. Si sólo adquiriera dos nunca produciría 1,500 unidades por turno sin trabajar tiempo extra. Esto causará un cuello de botella.
9. Balancear líneas de ensamble o celdas de trabajo. Esto es dividir el trabajo entre los ensambladores u operadores de celda de acuerdo con la tasa de línea. En la medida de lo posible, trate de dar a cada uno la misma cantidad de trabajo.
10. Estudiar los patrones de flujo del material para establecer cuál es el mejor (la distancia más corta a través de la instalación).
    a. Diagrama de cadena.
    b. Gráfica de proceso de productos múltiples.
    c. Gráfica origen-destino.
    d. Gráfica del proceso.
    e. Gráfica del flujo del proceso.
    f. Diagrama de flujo.
11. Determinar las relaciones entre actividades —¿qué tan cerca necesitan estar los departamentos uno de otro a fin de minimizar el movimiento de personas y de materiales?
12. Hacer la distribución de cada estación de trabajo. Estas distribuciones conducirán a las del departamento, y después a la de toda la instalación.
13. Identificar las necesidades de servicios para el personal y la planta, y proporcionar el espacio requerido.
14. Identificar las necesidades de oficina y hacer la distribución necesaria.
15. Desarrollar los requerimientos de espacio total a partir de la información anterior.
16. Seleccionar el equipo de manejo de materiales.
17. Asignar el área de acuerdo con el espacio necesario y las relaciones de actividades establecidas en el punto 11.
18. Desarrollar un plan gráfico y la forma de la construcción. ¿Cómo se ajusta la instalación al terreno?
19. Construir un plan maestro. Éste es el diseño de la instalación de manufactura —la última página del proyecto y el resultado de todos los datos recabados y las decisiones tomadas durante los meses anteriores.
20. Buscar fallas y ajustar. Pida a sus colegas ingenieros y administradores del mismo nivel que el suyo que revisen su plan para ver si pueden detectar errores en el diseño antes de que lo presente a la dirección para que lo apruebe.
21. Buscar las aprobaciones, acepte los consejos y cambie lo necesario.

22. Instalar la distribución. En esta etapa, el plan se materializa y es uno de los momentos más satisfactorios y también uno de los más tensos.
23. Comenzar la producción. Anticipar que muchas cosas marcharán mal. Nadie ha comenzado alguna línea de producción sin ningún problema; no espere ser el primero. Cada vez lo hará mejor, pero nunca será perfecto.
24. Ajuste lo que se requiera y finalice el reporte del proyecto y desempeño presupuestal.

Muchos profesores de ingeniería y empresas de consultoría industrial intentan desarrollar una fórmula computacional para diseñar instalaciones de manufactura. Hasta hoy, han obtenido algoritmos y simulaciones de computadora para ciertas partes del análisis. Los planeadores de instalaciones usarán dichas herramientas como cualquier otra, pero la calidad del diseño depende de lo bien que se analicen los datos, no de la habilidad de una máquina para resolver problemas. Por tanto, es mejor adoptar un enfoque sistemático, una etapa a la vez, y agregar información en cada una. Al finalizar de este modo, el resultado surge mágicamente (resulta una gran distribución de planta). El técnico con experiencia en distribuciones sabe que un buen resultado es inevitable si se sigue el procedimiento.

El procedimiento de diseño de instalaciones de manufactura es un plan general del proyecto. Cada etapa incluirá algunas técnicas que no se usarán en todas las situaciones. Saltarse etapas está permitido si se considera que no son necesarias. El procedimiento de 24 etapas que se presentó antes es el lineamiento básico para el resto del libro. Si está elaborando un proyecto de distribución, debería utilizar esta lista como guía.

TIPOS Y FUENTES DE LOS PROYECTOS DEL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA

1. *Instalación nueva.* Éste es por mucho el trabajo más divertido y en donde puede tener la mayor influencia en el proyecto de una instalación de manufactura nueva. En un proyecto nuevo hay pocas restricciones y limitantes porque no tiene que preocuparse de las instalaciones antiguas.
2. *Producto nuevo.* La compañía asigna una esquina de la planta para un producto nuevo. El producto nuevo debe incorporarse al flujo del resto de la planta, y ciertos equipos en común tal vez se compartan con los productos ya existentes.
3. *Cambios en el diseño.* Los cambios en el diseño del producto siempre se hacen para mejorar su costo y su calidad. La distribución podría verse afectada por dichos cambios y el diseñador de instalaciones debe revisar cada modificación del diseño.
4. *Reducción del costo.* El diseñador de las instalaciones de la planta podría encontrar una distribución mejor que produjera más unidades con menos esfuerzo de los trabajadores. Otras personas de la empresa podrían hacer sugerencias de mejoras y reducciones de costos que afecten la distribución. Todo esto debe tomarse en cuenta.
5. *Retroajuste.* Debido a que muchas plantas antiguas tienen distribuciones deficientes, los diseñadores de instalaciones de manufactura viejas quizá pasen la mayor parte de su tiempo trabajando en hacerlas más productivas. El procedimiento para el **retroajuste** es el mismo que para una planta nueva —excepto que hay más restricciones. Entre éstas se incluyen: paredes que ya existen, fosos, techos bajos y cualesquiera otros arreglos permanentes que representen un obstáculo para el flujo eficiente de los materiales.

En toda área donde hay actividad humana existen flujos de materiales o personas. El flujo en Disney World es de gente; los hospitales tienen flujos de pacientes, suministros médicos y servicio de comidas; las tiendas tienen flujos de consumidores y mercancías; en las cocinas hay flujos de alimentos y bebidas. Si los diseñadores estudian el flujo, pueden mejorarlo cambiando la distribución de las instalaciones. Las oportunidades están en todas partes.

Aunque se dice que sólo la muerte y los impuestos son seguros, existe una tercera certeza: la distribución de una planta cambiará. Algunas industrias están más sujetas al cambio que otras. Por ejemplo, una compañía juguetera puede tener cada mes nuevos productos que se agreguen a su línea de artículos. En una compañía como ésta, el trabajo de distribución de planta sería continuo. En un molino de papel, la distribución cambiaría muy poco de un año al otro, por lo que el trabajo de distribución de planta sería mínimo.

LAS COMPUTADORAS Y LA SIMULACIÓN EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA

Con rapidez, la simulación y el modelado por computadora están adquiriendo importancia en el segmento de manufactura y servicios de la industria estadounidense. Como resultado de la dinámica de mercado y la feroz competencia global, las empresas manufactureras y de servicios se ven forzadas a proporcionar un producto o servicio de mejor calidad sobre una base de costo más eficaz, al tiempo que tratan de reducir el tiempo de inicio de la producción o el servicio. La búsqueda de la ventaja competitiva requiere mejora continua y cambios en el proceso y la implantación de tecnologías nuevas. Desafortunadamente, aun los sofisticados sistemas de manufactura planeados con el mayor de los cuidados y con alto grado de automatización, no son inmunes a los errores de diseño (garrafales y costosos) o a fallas imprevistas. Entre los ejemplos más comunes de estas costosas equivocaciones se encuentran el espacio insuficiente para colocar el inventario en proceso, fallas en el cálculo de las capacidades de las máquinas, flujo ineficiente del material y trayectorias congestionadas para los vehículos guiados automáticamente (VGA).

Aunque la simulación y modelado por computadora no son herramientas nuevas para resolver problemas matemáticos complicados o para proyectar distribuciones estadísticas sofisticadas, el poder de la nueva generación de software ha incrementado dramáticamente la aplicación del modelado por computadora como herramienta para solucionar problemas en el campo del diseño de instalaciones. Los paquetes de simulación que hoy se encuentran disponibles ya no requieren una formación sólida en matemáticas o lenguajes de programación con el fin de realizar simulaciones del mundo real. Está disponible cierto número de paquetes de simulación avanzada amigables con el usuario, que permiten simular el trabajo de una fábrica, el ambiente del inventario justo a tiempo, un problema de almacenamiento y logística, o el comportamiento de un sistema de tecnología grupal. Se ha demostrado que dichos paquetes de simulación son de valiosa ayuda en los procesos de toma de decisiones. También requieren una inversión relativamente pequeña de tiempo por parte del aprendiz, con el fin de desarrollar el conocimiento funcional del proceso de simulación.

La **simulación** puede usarse para predecir el comportamiento de un sistema de manufactura o servicio mediante el registro real de los movimientos y la interacción de los componentes del sistema, y ayuda en la optimización de éste. El software de simulación genera

reportes y estadísticas detallados que describen el comportamiento del sistema en estudio. Con base en dichos reportes, pueden evaluarse distribuciones físicas, selección de equipo, procedimientos de operación, asignación y utilización de recursos, políticas de inventario y otras características importantes del sistema.

El modelado con simulación es dinámico, en el sentido de que el comportamiento del modelo se registra conforme transcurre el tiempo. En segundo lugar, la simulación es un proceso estocástico, lo cual significa que se puede estudiar la ocurrencia de los acontecimientos de forma aleatoria.

En el terreno de la planeación y el diseño de instalaciones, la simulación en computadora puede utilizarse para estudiar y optimizar la distribución y la capacidad, las políticas de inventario JIT, los sistemas de manejo de materiales y la planeación del almacenamiento y la logística. La simulación por computadora permite comparar alternativas diferentes y estudiar escenarios diversos con objeto de seleccionar la opción más apropiada.

En la actualidad, se encuentra disponible cierto número de paquetes de simulación avanzados y amigables con el usuario con el fin de ayudar a los planeadores de instalaciones a lograr los mejores resultados posibles. La simulación por computadora y su aplicación se estudian detalladamente en el capítulo 15.

ISO 9000 y la planeación de instalaciones

ISO 9000 y otros estándares de calidad se han convertido en un factor importante de contribución en las operaciones de muchas empresas de manufactura y servicios. La serie ISO de estándares internacionales fue publicada por vez primera en 1987 por la International Organization for Standardization (ISO). Una organización puede adoptar todos o una parte de los estándares, en función del tamaño y el alcance de la operación de la empresa. Gran número de corporaciones demandan que sus representantes de ventas se registren con éste u otros estándares de calidad similares, por lo que ahora dicho registro es un prerrequisito primordial para muchos de ellos. Los estándares y requerimientos de ISO 9000 pueden tener influencia directa en el diseño de las instalaciones. Con objeto de incorporar y facilitar la implantación de dichos estándares, deben tomarse las providencias necesarias durante la planeación inicial de las instalaciones. La revisión más reciente del estándar ISO 9000 pone énfasis en "el enfoque en el proceso" para la organización de la empresa. Al analizar la planeación de las instalaciones con un enfoque macroscópico, todos y cada uno de los aspectos de la empresa —desde la recepción hasta el embarque, con todas las funciones y los apoyos intermedios de la instalación— deben funcionar como un sistema integrado y cohesivo que apoya el proceso. Algunas particularidades son las siguientes.

La distribución de una instalación sólo es tan eficaz como el equipo administrativo y el plan que éste sigue para operar la compañía. Un sistema eficaz de administración por calidad refuerza y complementa los aspectos físicos de las instalaciones y permite maximizar el rendimiento de la inversión en los activos físicos de la organización, como el equipo para la producción. La compañía debe desarrollar, documentar, implantar y mantener un sistema eficaz de administración por calidad. Dicho sistema necesita definir los procesos y los registros críticos por mantener. El sistema documentado de calidad necesita controlarse para garantizar que la compañía esté operando sobre estándares actuales y procedimientos correctos. La compañía debe tener el compromiso de la alta dirección para producir un artículo de calidad. Deben definirse y comprenderse las responsabilidades del personal de todos los niveles. La alta dirección debe garantizar que los requerimientos del cliente están determinados y comprometerse a promover la satisfacción de los mismos.

La dirección debe revisar en forma regular el sistema de la compañía de administración por calidad con el fin de garantizar que las prácticas actuales aún se apegan a las políticas establecidas y que los estándares actuales son adecuados para las capacidades de la empresa. Esto incluye el análisis de la capacidad del equipo, el personal y los recursos de espacio de la organización. La administración debe vigilar continuamente las operaciones en busca de oportunidades de mejora.

Además, la compañía debe asegurar que tiene recursos adecuados. Estos recursos son los siguientes, pero no se limitan a ellos: personal calificado, equipo adecuado y niveles suficientes de inventario. La compañía debe determinar y proporcionar los recursos adecuados para implantar y mantener el sistema de administración por calidad e incrementar la satisfacción del cliente. El ambiente de trabajo requiere ser apropiado para lograr la conformidad con el producto y alcanzar los requerimientos del consumidor. La responsabilidad y el papel del planeador de las instalaciones son de vital importancia para determinar el nivel requerido de dichos recursos.

Una compañía debe tener un sistema bien definido y estructurado para administrar su inventario con objeto de asegurar que las partes se están terminando conforme a lo programado y dentro de las especificaciones del cliente. La organización debe tener un plan por escrito, bien documentado, de la forma en que se dará seguimiento a los productos y componentes, desde la recepción, a través de todas las etapas de procesamiento, hasta, finalmente, su entrega. Cuando se requiera el seguimiento de un lote o producto, debe generarse la capacidad de recabar datos en el equipo de manejo de materiales, y también incorporarse como parte del diseño de la estación de trabajo. Como parte del diseño de la estación de trabajo y la planeación de las instalaciones deben diseñarse escáneres portátiles o estacionarios con propósitos de recolección de datos y seguimiento de artículos.

La compañía debe planear y desarrollar los procesos necesarios para la venta del producto. Hace falta que los requerimientos del consumidor se consideren, y deben determinarse procesos específicos para lograr la satisfacción de éste. Dichos requerimientos del consumidor deben revisarse y ser aprobados antes de su aceptación a fin de garantizar que existen el equipo y las capacidades del proceso necesarios para satisfacerlos.

También debe tomarse en cuenta el proceso de diseño y desarrollo. Desde las especificaciones del consumidor hasta las salidas de la instalación, todos los procedimientos y los procesos deben ligarse para lograr la satisfacción del cliente. Se requiere que la compañía garantice que la producción del artículo se mantiene en condiciones controladas. Este requerimiento puede ligarse en forma directa al JIT, al MRP, al *kanban* y a otros sistemas de control de la producción. Además, los planeadores deben poner atención en las etapas iniciales del diseño de instalaciones para incorporar procedimientos que aseguren la calidad o la verificación al recibir, los trabajos en proceso (WIP, por las siglas de *Work in Process*) y, por último, durante la etapa final de la producción.

Hay procesos específicos que necesitan ser medidos y analizados para que se apeguen a los requerimientos del cliente. Un ejemplo es la prueba de la dureza del acero para asegurar que es acorde con lo que pidió el consumidor. Estos procesos necesitan identificarse, y el análisis, documentarse. Internamente, la compañía debe vigilar sus procesos y procedimientos con el fin de asegurar que coinciden, lo cual es manejado por medio del proceso de auditoría interna. Este proceso también permite que la alta dirección identifique las oportunidades para mejorar, ya sea en cuanto a la actualización del equipo o el cambio de procesos para incrementar la eficiencia. Los estándares ISO ponen énfasis en la mejora continua, que implica que el sistema de administración de la calidad cambiará constantemente, conforme lo haga la compañía y surjan oportunidades para mejorar.

Además, en cualesquiera etapas, debe haber procedimientos para manejar todo proceso o producto fuera de lo planeado. Deben desarrollarse sistemas para identificar, documentar, evaluar y segregar los acontecimientos que ocurran fuera de lo establecido. Deben proveerse los medios de manejo y las instalaciones adecuadas para situar los productos fuera de lo establecido hasta que se determine su adecuada disposición. Ésta tal vez incluya la repetición de trabajos o su aceptación, con o sin más labor adicional, o bien, el rechazo y desecho del artículo.

Debe haber mecanismos adecuados para asegurar el manejo, el almacenamiento, el empaque, la preservación y la entrega apropiados del producto.

Los planeadores de las instalaciones tienen muchas oportunidades para incorporar estos procedimientos en las etapas iniciales del diseño de la planta.

GLOSARIO DE LOS TÉRMINOS IMPORTANTES EN LA PLANEACIÓN DE INSTALACIONES

andon Es el método de tableros indicadores para detener el trabajo que están arriba de la línea de producción y que sirven como control visual. Cuando las operaciones son normales, está encendida la luz verde. Se enciende una luz amarilla cuando un operador quiere ajustar algo o solicita ayuda. Si la línea debe detenerse para resolver el problema, se enciende una luz roja. Vea también *concepto de detención de una línea de producción.*

autonomización (*jidoka*) La autonomización, o automización con toque humano, significa transferir inteligencia humana a una máquina. Se construyen en una máquina dispositivos capaces de elaborar juicios. En el sistema esbelto este concepto se aplica no sólo a la maquinaria, sino también a la línea de producción y a los operadores. Si ocurre un problema, se requiere que un operario detenga la línea. Los defectos se atienden en la línea de producción, lo cual permite que la situación se investigue.

causa original En todos los problemas existen síntomas que mantendrán oculta su causa raíz. Preguntar "por qué" cinco veces puede ayudar a encontrarla. De otro modo no se pueden emprender acciones y los problemas no se resolverán de verdad.

cinco (5) principios Estos conceptos se usan para describir con más detalle lo que significa la limpieza apropiada: **1.** sacar sólo lo necesario, **2.** acomodar, **3.** barrer, **4.** limpiar, ordenar e higiene, y hacer que las cosas estén impecables, y **5.** ser estrictos, mantener la disciplina.

cinco porqués Cada vez que hay un problema, se pregunta "por qué" cinco veces o más. Cuando se repite "por qué" cinco veces, aparece con claridad la causa raíz, así como la solución, del problema, en vez de sólo un síntoma de éste.

concepto de detención de una línea de producción (*andon*) Permite que un operador detenga la línea de producción si es necesario. Siempre que hay un problema, el trabajador detiene la línea, lo identifica, resuelve y restablece el flujo tan pronto como sea posible. Este enfoque reclama disciplina para responder a los problemas y resolverlos con rapidez.

diseño de instalaciones Esto incluye la selección del sitio, el diseño del inmueble, la distribución de la planta, y el manejo de materiales. Con frecuencia, se usa diseño de instalaciones como sinónimo de distribución de la planta; esto es, la organización de las instalaciones físicas de la compañía para promover el uso eficiente de sus recursos, tales como personal, equipo, material y energía.

diseño de instalaciones de manufactura Ver *diseño de instalaciones.*

enunciado de misión Es el establecimiento de la meta principal del proyecto e incluye submetas.
Estandarización Es el registro del método y los procedimientos para llegar al mismo resultado en forma consistente. La estandarización es muy importante para un programa de mejora; sin ella, las cosas regresarán a los procesos antiguos. Una vez que se establecen métodos estándares, deben ser revisados para que reflejen las actividades de mejora.
fórmula de reducción de costos Ésta es una forma de pensar sobre la eliminación del desperdicio (muda) del proceso mediante las preguntas por qué, qué, dónde, cuándo y cómo en cada operación, transporte, inspección, almacenamiento y retraso por eliminar, combinar, cambiar, encaminar o simplificar.
ISO 9000 Ésta es una serie (ISO 9000, ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003 e ISO 9004) de estándares internacionales que fueron publicados por primera vez en 1987 por la ISO. Fueron pensados para usarse en el establecimiento de acuerdos contractuales entre dos partes; sin embargo, después de su adopción por la Comunidad Europea, tuvieron aceptación universal. Una organización puede adoptar todos o algunos de estos estándares en función del tamaño y el alcance de sus operaciones.
kaizen Palabra que significa mejora continua. El *kaizen* es realizado por un equipo de empleados o uno sólo. Es la búsqueda constante de formas de mejorar la situación existente.
kanban Un *kanban* (tablero de señales) es una forma sencilla y directa de comunicación que siempre se coloca en el punto donde se necesita. Generalmente, el *kanban* es una tarjeta pequeña dentro de una envoltura de plástico, en ella se encuentra escrita información tal como el número de parte, la cantidad por contenedor, el punto de entrega, etcétera. La tarjeta *kanban* dice al operador que produzca la cantidad surgida del proceso anterior. La tarjeta es una herramienta usada para administrar y asegurar la producción JIT. Para obtener los resultados requeridos, pueden usarse contenedores o un cuadrado *kanban* en lugar de tarjetas.
mapeo de la corriente de valor (MCV) Representación pictórica de un proceso, que permite la evaluación sistemática de cada uno de sus componentes o etapas.
manejo de materiales Esto significa manipular material, e incluye tanto los principios como el equipo.
manufactura esbelta Es una continuación del *pensamiento esbelto*, en el que menos de todo es mejor. La filosofía que se sigue es la del valor agregado, por medio de la cual se eliminan los elementos de costo que no agregan valor al producto final.
nivelación de la producción También se conoce como *balanceo de línea*, las fluctuaciones en el flujo de productos incrementan el desperdicio. Para impedirlo, las fluctuaciones al final de la línea de ensamblado deben llevarse a cero. La producción se nivela mediante la fabricación de un modelo, después la de otro, y así sucesivamente.
ocho clases de muda (desperdicio) Los tipos de muda incluyen: **1.** sobreproducción, **2.** desperdicio, **3.** transporte, **4.** procesamiento, **5.** inventario, **6.** movimiento, **7.** repetición, y **8.** utilización del personal. La idea de mejorar es trabajar con más facilidad, rapidez, economía, inteligencia y seguridad. Al tratar de eliminar el desperdicio, pregunte si puede eliminarlo, después combínelo con otro costo, cambie la ruta o simplifíquelo.
***pokayoke* (a prueba de tontos)** Con el fin de garantizar el cien por ciento de productos de calidad, debe impedirse que haya defectos. *Pokayoke* son las innovaciones que se hacen en las herramientas y los equipos para instalar dispositivos que prevengan los defectos. Algunos ejemplos son los siguientes:

1. Cuando una operación sea olvidada, no comenzará la siguiente.

2. Los problemas de las operaciones anteriores se revisan en las posteriores para detener el producto defectuoso.
3. Cuando haya problemas con el material, la máquina no arrancará.
4. Las herramientas y los aditamentos se diseñan para que sólo admitan una parte en la dirección correcta.

retroajuste Significa volver a trabajar en el plan de las instalaciones y forma parte del plan de mejoramiento continuo (*kaizen*) o gran esfuerzo que se realiza cuando la situación se sale de control.

Simulación Éste es un medio de experimentación con un modelo detallado que representa las características de los sistemas reales, para determinar cómo responderá el sistema a varios cambios en sus componentes, ambiente y estructura. Para nuestros propósitos, puede definirse un sistema como celda de trabajo, línea de ensamblado, grupo de máquinas, o instalación completa de manufactura. La simulación proporciona la oportunidad de tener una serie de juegos del tipo "qué pasaría si..." y de observar los efectos de distintos cambios o manipulaciones en el modelo para optimizar o mejorar el sistema real.

sistema de producción Toyota Es el inicio del concepto de pensamiento esbelto y manufactura esbelta.

tiempo de procesamiento El tiempo de procesamiento, o valor *R*, se determina sobre la base de los requerimientos de producción periódica y la cantidad de tiempo de operación durante el periodo. Establecer el tiempo de procesamiento para cada actividad es la clave para reunir todas las partes diferentes en todas las etapas de ensamblado, exactamente en el tiempo correcto. Cada estación de trabajo necesita mantener el tiempo de procesamiento. Si cada actividad se hace de acuerdo con su tiempo de procesamiento, la producción será exactamente la necesaria cuando se requiere. Producir con el tiempo de procesamiento garantiza que toda la producción coincidirá en el proceso de ensamblado final.

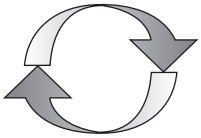
$$\text{Tiempo de procesamiento} = \frac{\text{Tiempo total de operación diaria}}{\text{Requerimiento total de producción diaria}}$$

trabajo con valor agregado Es el que en realidad transforma los materiales, cambiando su forma o calidad, por medio de actividades como ensamblar, moler, soldar, tratar con calor o pintar. En una fábrica común es frecuente que el 95 por ciento del tiempo de un operador no sea usado para agregar valor al producto. Pueden hacerse las preguntas siguientes al analizar el trabajo con valor agregado: **1.** ¿Estas actividades son absolutamente necesarias para los trabajos de producción? **2.** ¿Estas actividades agregan valor al producto en lugar de costo? **3.** ¿Las actividades están relacionadas con aspectos que el consumidor observa o quizá no le importan?

PREGUNTAS

1. ¿Qué es la distribución de planta?
2. ¿Qué es diseño de instalaciones?
3. ¿Qué es el manejo de materiales?
4. Explique cómo se usa la fórmula de reducción de costos en el proceso de diseño de manufactura.
5. ¿Cuál es el porcentaje de lesiones y de los costos de operación que ocasiona el manejo de materiales?
6. Haga una lista con las metas del diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales.
7. ¿Qué es el enunciado de la misión?
8. ¿Cuáles son los dos conceptos en la figura 1-1 que presentan retraso en relación con lo programado?
9. ¿Cuál es el valor del procedimiento de diseño de instalaciones de manufactura?
10. Haga una lista del procedimiento de diseño de instalaciones de manufactura.
11. ¿Cuáles son los cinco tipos de proyecto de diseño de instalaciones de manufactura?
12. ¿Cuál es la diferencia entre los procedimientos para diseñar una instalación nueva y un retroajuste?
13. ¿Qué es manufactura esbelta y pensamiento esbelto?
14. Defina *muda*, *kaizen*, *kanban* y *andon*.
15. Defina *simulación* y explique por qué piensa que puede ser una herramienta importante en el diseño de instalaciones.
16. Explique cómo incorporaría los distintos requerimientos de ISO 9000 en el proceso de planeación de las instalaciones.
17. ¿Qué cree que significa proceso "aleatorio"? Dé un ejemplo de éste en el piso de la fábrica y cómo podría ayudar la simulación para comprender dicho fenómeno.
18. ¿Está familiarizado con alguna tecnología de captura de datos automática? ¿Dónde y cómo ve que pueda aplicarse dicha tecnología en el proceso de planeación de instalaciones?
19. En promedio, una instalación para algunos "cambios de diseño de la distribución" sucede una vez cada 18 meses. ¿Qué necesitarían tales cambios?

PROYECTO EN LA PRÁCTICA



Un *proyecto en la práctica* es el estudio *continuado* de un caso que aparecerá al final de los capítulos apropiados. El propósito del estudio de caso es ilustrar el enfoque sistemático que se presenta en este libro para el diseño de una instalación de manufactura mediante un ejemplo práctico. El proyecto está dividido en varios segmentos, cada uno de los cuales se presenta al final del capítulo adecuado en la secuencia apropiada. Cada segmento del proyecto utiliza los diferentes conceptos, herramientas y temas que se establecieron dentro del capítulo y que llevarán al diseño de una instalación completa de manufactura para fabricar y ensamblar un producto —la parrilla familiar. La empresa ficticia *Shade Tree Grill Company* sirve como ejemplo práctico para el diseño de una instalación de manufactura eficaz y eficiente.

La belleza del diseño de instalaciones radica en el hecho de que si bien se dispone de una gama de herramientas cualitativas y cuantitativas, y el diseño puede estar sujeto y evaluarse a través del uso de medios analíticos numerosos, todavía hay mucho lugar para dar cabida a la creatividad y la visión de los planeadores. Por tanto, es concebible e incluso se espera que diferentes equipos de planeadores de instalaciones lleguen a diseños por completo distintos para la producción de los mismos bienes o servicios. Las diferencias, filosofías, visiones, creatividad y aun los compromisos individuales, darán lugar a variaciones en los diseños de la instalación. Estas diferencias no afectan necesariamente los objetivos principales de la instalación ni influyen en forma adversa en su funcionalidad y productividad, sólo ocasionan resultados variados del diseño. Sin duda, algunas distribuciones de planta son *mejores* que otras. Se apegan a todas las metas del diseño de instalaciones de manufactura, procedimientos para reducir el desperdicio, y los principios y prácticas de la manufactura esbelta. Por supuesto, hay algunas que dejan mucho que desear y proporcionan las oportunidades mayores para las mejoras. Sin embargo, recuerde que la *diferencia*, *per se*, no constituye un nivel o grado de calidad.

Como se dijo, la Shade Tree Grill se presenta aquí como ejemplo de la forma de utilizar el enfoque sistemático y la metodología que se sigue en este libro. Estudie el enfoque, emplee las prácticas correctas, identifique los errores y mejore con base en ellos, y use su creatividad y visión para alcanzar la excelencia y llegar al nivel siguiente.

Historia de la compañía

Hace 14 años, seis jóvenes estudiantes que abrevaban de la tecnología industrial en Purdue University tuvieron un sueño. Soñaron con fundar una compañía que hiciera más fácil la vida de todos. Se barajaron muchas ideas. La decisión final fue Shade Tree Grills. Todos aman los asados y, sobre todo, los asados fáciles. Los estudiantes trabajaron con el departamento de diseño e ingeniería de instalaciones para producir todos los planes y dibujos necesarios. Se seleccionó una localidad y fue el momento de pasar a la etapa siguiente.

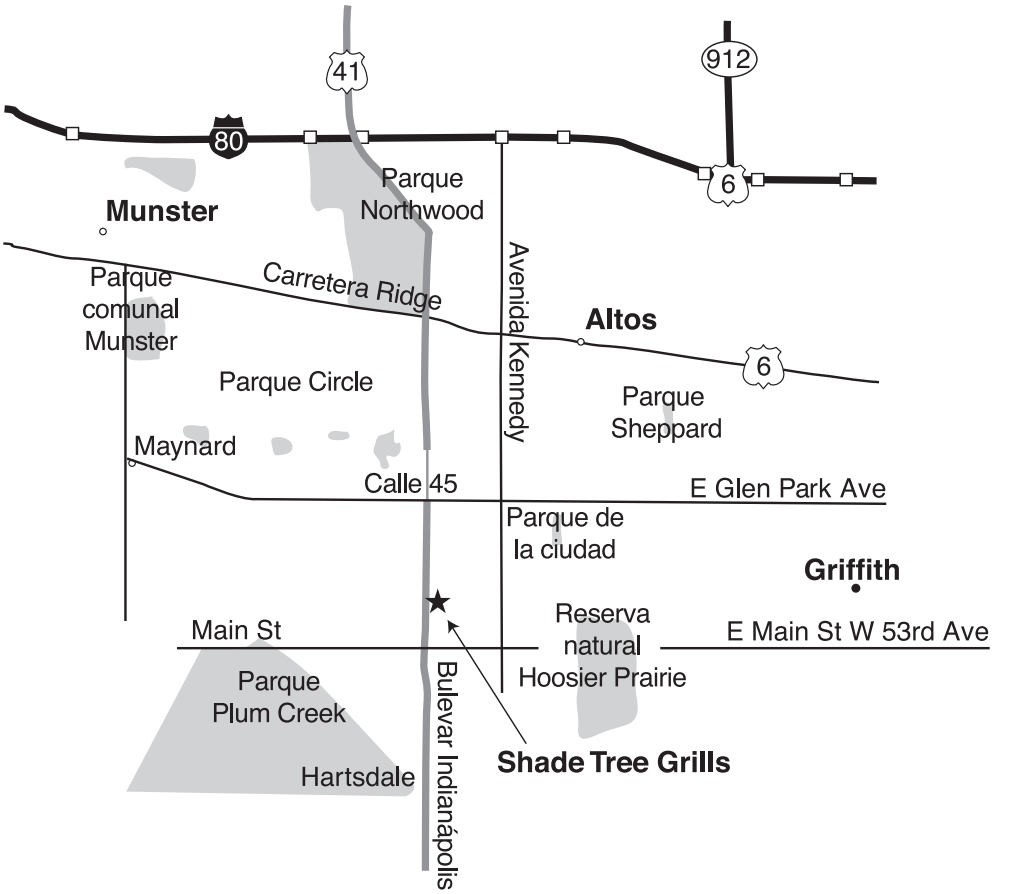
-Shade Tree Grills-

Enunciado de la misión

Nuestra misión en Shade Tree Grills es proporcionar un producto de calidad al consumidor y ser, al mismo tiempo, socios conscientes de nuestra comunidad.

Nuestra ubicación

Shade Tree Grills se localiza en un sitio de 60 acres (24 hectáreas) en Schereville, Indiana. El sitio se ubica sobre U.S. Highway 41, una carretera importante que une las partes norte y sur del estado. El lote está situado a seis kilómetros al sur de la carretera Interestatal 80/94, lo que propiciará fáciles entregas y acceso a los embarques.



Shade Tree Grills

CAPÍTULO

2

Fuentes de información para el diseño de instalaciones de manufactura

El diseño de instalaciones depende de información básica que el diseñador debe obtener de fuentes distintas. Gran parte de esta información proviene de otros departamentos de la compañía. A veces, su consecución es algo que "no se desea hacer", pero el diseñador requiere información confiable y la mejor fuente son las demás personas. Entre más grande es una empresa, menos datos produce en realidad el diseñador. Algunas empresas tienen varios subdepartamentos de manufactura e ingeniería industrial. Algunos ejemplos de ello son los siguientes:

1. La sección de procesos establece las rutas y selecciona la máquina por usar.
2. En la sección de diseño de herramientas se diseñan las partes integrantes y se especifican las herramientas.
3. Los estándares de tiempo de cada operación se establecen en la sección de aplicaciones.
4. El departamento de calidad especifica los procedimientos de inspección y requiere espacio para herramientas y personal.
5. El departamento de seguridad quiere revisar y hacer que se tomen en cuenta sus requerimientos.
6. Las políticas del departamento de control de la producción e inventarios afectarán el espacio necesario, así como los procedimientos.

   Toda esta información influirá en el diseño de las instalaciones.

En este capítulo se estudiarán estas fuentes de información fuera del departamento de manufactura, en el capítulo 3 se verán los estándares de tiempo, y en el 4 la información adicional que se requiere y que proviene del interior del departamento de manufactura. El diseñador de instalaciones de manufactura siempre necesitará recabar información

externa de alguien, pero en trabajos de consultoría para compañías pequeñas, tendrá que generar él mismo la información del departamento de manufactura.

Hay tres fuentes básicas de información fuera del departamento de manufactura:

1. Marketing.
2. Diseño del producto.
3. Política de administración.

EL DEPARTAMENTO DE MARKETING

Este departamento proporciona una función de investigación que analiza lo que los consumidores quieren y necesitan. Busca maneras de satisfacer las demandas de los clientes potenciales. Algunos tipos de información que proporciona el marketing son: **1.** precio de venta, **2.** volumen (¿cuántos podemos vender?), **3.** demanda estacional (¿se trata de un producto para el verano o para el invierno?), y **4.** las partes de reemplazo o refacción que tal vez requieran los antiguos productos.

La determinación del precio de venta no es función exclusiva del departamento de marketing. La organización de ingeniería industrial podría suministrar los datos de costo para fijar los precios, pero la cantidad en que se vende un producto influye directamente en el número de éstos que la compañía vende. Cada cliente hace un análisis del valor de todas sus compras. Entre más bajo es el precio, más personas elegirán el producto. Fijar precios es muy complicado, y los departamentos de marketing, producción y finanzas toman parte en estas decisiones, sin embargo, el primero requiere tener dicha información antes de que pueda preguntar a los clientes, "¿Cuántos quiere comprar?"

El volumen es resultado de la definición de cuántas unidades por día quiere elaborar la compañía. El departamento de marketing podría tomar algunas muestras de modelo a mano destinadas a unos cuantos clientes importantes y solicitar su opinión. Si el producto nuevo agrada a estos consumidores, se les preguntaría cuántos comprarían. Es común que el 20 por ciento de los compradores adquieran el 80 por ciento de la producción total (ésta es una estadística interesante que se basa en el *análisis de Pareto*[1]). Por tanto, si un grupo pequeño de clientes dice que compraría 125,000 unidades, lo que representaría el 50 por ciento de las ventas anuales, se requerirían 250,000 unidades. Si la planta trabaja 250 días por año (50 semanas, 5 días cada una), entonces es necesario fabricar 1,000 unidades al día.

El número de unidades diarias requeridas es una cifra importante para el diseñador de instalaciones porque determina el número de máquinas y personas para las que necesita proporcionar espacio. Para alcanzar este objetivo, debe determinar la tasa de la planta (qué tan rápido necesita trabajar cada máquina y cada estación de trabajo para lograr dicha meta).

---

[1] El análisis de Pareto establece que el 80 por ciento de la actividad (problemas y oportunidades) proviene del 20 por ciento de las causas. Esta estadística es importante en el diseño de instalaciones si se considera el producto (80 por ciento de las ventas son del 20 por ciento de los productos de la línea) y a los consumidores (80 por ciento de las ventas son para el 20 por ciento de ellos). Otro ejemplo útil es el costo de las partes de la producción: 80 por ciento del costo del material del producto sólo representará el 20 por ciento del total del número de partes. También significa que el 80 por ciento de los problemas con personas o máquinas se origina en el 20 por ciento de individuos o de maquinaria. El resultado de tomar en cuenta esto es que una compañía puede identificar los componentes más importantes y administrarlos con más atención.

Determinación del tiempo de procesamiento o tasa de la planta

Para alcanzar la meta de producción o un volumen de producción actual, cada máquina y cada operación debe mantener cierto ritmo. Por ejemplo, si la programación establece la producción de 1,500 parrillas por día o por turno, entonces, la compañía debe tener 1,500 parrillas terminadas, empacadas y listas para su envío al final del periodo de producción. Para cumplir con dicho programa, en esencia, la planta debe producir partes y componentes suficientes por periodo para satisfacer la demanda de producción. Si cada parrilla requiere una malla para asar, entonces la capacidad de producción debe cumplir con la demanda de generar 1,500 parrillas por periodo.

Sin embargo, si cada parrilla tiene *dos* mesas laterales, entonces la planta debe contar con capacidad para producir 3,000 mesas durante el mismo periodo. Dicho de otro modo, la tasa de producción de las mesas laterales debe ser del doble de las mallas. En otras palabras, cada mesa tiene que producirse en la mitad del tiempo que se requiere para la malla. Se debe tener presente que no se está diciendo que el tiempo requerido para la producción de una mesa lateral es sólo de la mitad de una parrilla. Lo que se afirma es que debido a que cada parrilla requiere dos mesas, la compañía debe producirlas a una tasa más rápida. Esta tasa de producción se denomina ***tiempo de procesamiento*** o *tasa de producción* o, sencillamente, valor *R* como se estudió en el capítulo 1.

La tasa de la planta o tiempo de procesamiento (en inglés *takt time*, *takt* proviene del alemán, es de uso común actualmente y tiene el mismo significado) es la tasa a la que deben fluir las operaciones, procesos, partes, componentes, etcétera, con el fin de cumplir con la meta de producción.

Para calcular el tiempo de procesamiento, debe conocerse la meta de producción, la cantidad de tiempo asignado para producir las unidades (p. ej., un turno de 10 horas, o dos turnos de 8 horas, etcétera), y cualquier tiempo no productivo que sea tomado del de la producción, tal como descansos, reuniones de grupo, almuerzo, y otros parecidos. Además, con objeto de calcular el tiempo de procesamiento, es necesario tener un conocimiento general de la eficiencia conjunta de la planta, como paros no planeados, faltas de inventario, ausentismo, entre otros.

El ejemplo siguiente ilustra el cálculo del tiempo de procesamiento.

Ejemplo: suponga que necesita producir y enviar 1,000 unidades de producto de la planta en un turno de 8 horas. Durante cada turno están asignados 30 minutos para el almuerzo, 10 minutos de descanso y 8 minutos para reuniones del grupo. Además, suponga que la planta opera con el 90 por ciento de eficiencia (el cálculo de la eficiencia de la planta está más allá del alcance de este análisis; sin embargo, baste decir que no es realista esperar una eficiencia del 100 por ciento, y que el 90 usado en este ejemplo es muy razonable.)

Con los datos anteriores, ¿cuánto tiempo tiene para generar una unidad del producto?

Turno de 8 horas × 60 minutos = 480 minutos de tiempo de producción

480 minutos de tiempo de producción − (30 minutos del almuerzo) − (10 minutos para descansar) − (8 minutos de reuniones) = 432 minutos de tiempo real de trabajo

432 minutos de tiempo real de trabajo × 90 por ciento de eficiencia = 389 minutos de tiempo efectivo (productivo)

Por tanto, *sólo* dispone de 389 minutos para producir 1,000 unidades de producto.

$$\text{Tiempo de procesamiento o } R = \frac{389 \text{ minutos}}{1{,}000 \text{ unidades}} = .389 \text{ minutos por unidad}$$

Tiempo de procesamiento o R (tasa de la planta) = .389 minutos por unidad

Cada .389 minutos debe salir de la línea de ensamblado y empaque un producto terminado, es decir, aproximadamente, 2.5 unidades por minuto. Esto significa que cada estación de trabajo y cada máquina de la planta necesitan producir unas 2.5 partes o juegos de partes por minuto.

$$\text{Unidades por minuto} = \frac{1 \text{ unidad}}{.389 \text{ minutos por unidad}} = 2.57 \text{ unidades por minuto}$$

Si necesitara dos partes (como los ejes de un vagón de juguete o dos mesas laterales para una parrilla) por producto terminado, entonces se requeriría hacer 5.14 partes por minuto.

Por supuesto, esta tasa supone que no se generan partes de desperdicio y que no se necesita tiempo para repetir trabajos. Aunque ni los desperdicios ni los retrabajos son algo deseable, suceden en la realidad y consumen tiempo y recursos de la producción. La tasa de la planta, o tiempo de procesamiento, debe ajustarse para reflejar este hecho, como se ilustra en el análisis siguiente.

Cálculo de las tasas de desperdicio y retrabajo

Si bien nadie lo quiere, las operaciones de manufactura sí producen partes *desperdiciadas* o inútiles. Además, existe la necesidad de repetir una operación tan sólo porque la parte no se produjo al primer intento dentro de las especificaciones establecidas. Esto se denomina *retrabajo*. El desperdicio y el retrabajo ocasionan el uso ineficiente y derrochador de los recursos de las instalaciones. Debe hacerse todo para eliminar este desperdicio. Sin embargo, en tanto la planta tiene que vérselas con el desperdicio y el retrabajo, no es posible ignorar la demanda que ejercen de tiempo de producción.

Los departamentos de calidad y de producción tienen datos históricos que indican el nivel de retrabajos y desperdicio de cada operación. Para determinar la tasa de la planta, o el tiempo de procesamiento, en los cálculos deben incluirse las tasas de desperdicio y de retrabajo. Además, también es prudente agregar en esos cálculos las partes de refacción o de reemplazo que se necesitan.

Para ilustrar lo anterior, se supondrá que en uno de los ejemplos anteriores la operación de prensado produce el 3 por ciento de desperdicios. Por tanto, para llegar a 1,000 vagones terminados, se debe comenzar con un número mayor, de modo que después de tener el 3 por ciento de desperdicios, se tendrán 1,000 partes buenas. Si se designa con la letra O a las partes terminadas, la entrada, I, se calcula así:

$$I = \frac{1{,}000}{(1 - .03)} = 1{,}031 \text{ unidades}$$

Éste es el número de entradas en bruto con el que necesita arrancar el proceso. Recuerde que si se realizan operaciones adicionales, y cada operación produce más desechos, es necesario realizar más ajustes al volumen de entrada. Por ejemplo, suponga que además de la operación de prensado se ejecutan otros dos procesos. Uno de ellos tiene una tasa de desperdicio de 2.5 por ciento, y el otro, de .5 por ciento. La entrada se calcula como sigue:

$$I = \frac{1{,}000}{(1 - .03)(1 - .025)(1 - .005)} = 1{,}063 \text{ unidades}$$

La fórmula general queda así:

$$I = \frac{\text{salida}}{(1 - \%\text{ de desperdicio } 1)(1 - \%\text{ de desperdicio } 2)(1 - \%\text{ de desperdicio } 3)\ldots (1 - \%\text{ de desperdicio } n)}$$

A usted ya no le preocupan las piezas de equipo que se requieren para producir 1,000 cuerpos de vagón. Ahora, el tiempo de procesamiento se calcula sobre la base de 1,063 unidades.

$$\frac{389}{1{,}063} = .366 \text{ minuto/unidad}$$

Por tanto, el tiempo ajustado de procesamiento, o tasa de la planta, es:

$$= .366 \text{ minuto/unidad}$$

La tasa de la planta es uno de los números más importantes para el diseño de instalaciones de manufactura. Se usa para calcular el número de máquinas y estaciones de trabajo, la velocidad de la banda y el número de empleados que requiere el diseño de la instalación.

La estacionalidad de la demanda es importante para el diseño de las instalaciones porque podría requerirse que la planta generara en unos cuantos meses la cantidad total de producto necesario para todo el año, por lo que se requeriría una instalación más grande. Los compradores quieren calentadores y trineos en invierno, parrillas y albercas en primavera y verano, y para Navidad, juguetes en las tiendas. Si esperara hasta poco antes de la demanda estacional para comenzar a fabricar su producto, necesitaría mucho trabajo de máquinas adicionales o perdería su mercado de oportunidad. Si produjera todo el año sólo para la época navideña, requeriría espacio de almacén para 10 o 12 meses. Determinar qué tan temprano comenzar y cuánto fabricar por día es un compromiso entre el costo de llevar inventario y el de la capacidad de producción. El objetivo es minimizar el costo total. El control de la producción y del inventario es la extensión en la manufactura del departamento de marketing, y es probable que sea la fuente de información para usted acerca del volumen.

El tema del control de la producción y del inventario va de la mano con el diseño de instalaciones de manufactura, y las políticas para controlar lo que se produce y almacena tendrán un gran efecto sobre el diseño que realice.

Hay que admitir la necesidad de las partes de reemplazo. Si ha estado en el negocio durante cierto tiempo, su producto comenzará a tener fallas por el uso. Los clientes podrían llamarlo para obtener refacciones que se han desgastado o descompuesto. Este negocio requiere que fabrique piezas extra para el inventario y que tenga áreas de almacenamiento y envío para dar servicio a dichos clientes. De nuevo, el control de la producción y el inventario le dirá cuánto incrementar el volumen para contar con refacciones sobre la base de parte por parte.

EL DEPARTAMENTO DE DISEÑO DEL PRODUCTO

Los planos, facturas de materiales, esquemas de ensamblado y muestras de modelo a mano dicen al diseñador de instalaciones cuál es la misión principal —describen detalladamente

lo que se necesita cumplir. El departamento de diseño del producto es la fuente de esta valiosa información. La primera pregunta que cualquier persona haría al enfrentarse a un proyecto nuevo de diseño de instalaciones es: "¿qué vamos a fabricar?" La salida del departamento de diseño del producto dice con exactitud lo que se va a manufacturar.

Todos los planos, bosquejos, películas, dibujos de CAD (diseño asistido por computadora), y muestras de modelo a mano, comunican la idea de lo que la compañía quiere manufacturar (vea las figuras 2-1, 2-2 y 2-3). Habrá dibujos de cada parte del producto, como lo muestra la figura 2-1a. En la figura 2-1b se presenta un dibujo más detallado de un subensamble de abrazadera y placa. Estos dibujos le dicen el tamaño, la forma, el material, las tolerancias y los acabados. Los dibujos de ensambles (vea la figura 2-2) muestran muchas partes (si no es que todas) y la manera en que se ajustan unas con otras. Un dibujo desglosado (figura 2-3) tiene utilidad especial para el diseñador de instalaciones porque lo ayuda a visualizar cómo embonan las partes entre sí. En la figura 2-3 se presentan dos vistas desglosadas diferentes. La figura 2-3a es el desglose de una caja de herramientas. La 2-3b muestra el de la abrazadera de una batería común de automóvil. Las líneas centrales se usan para separar las partes y éstas están alineadas para mostrar la relación de montaje, lo cual proporciona claves al diseñador de instalaciones acerca de la secuencia del ensamblado.

Cuando el diseñador trabaje en la distribución de la línea de montaje, su guía será el dibujo desglosado. El diseñador no podría comenzar si no cuenta con planos o esquemas.

El departamento de ingeniería del producto proporcionará al diseñador de instalaciones la lista de partes o una relación de los materiales de cada producto nuevo (vea la figura 2-4 en la página 34). La lista de partes o relación de los materiales enumera todas las partes que constituyen un producto terminado. Esta lista incluye los números de parte, sus nombres, la cantidad de cada una, cuáles partes constituyen subensambles y tal vez especificaciones de los materiales y los costos unitarios de las materias primas, así como las decisiones de fabricar o comprar. La decisión acerca de manufacturar o comprar un elemento concierne a la alta dirección, no sólo al departamento de ingeniería del producto, pero la lista de partes es un proceso apropiado para indicar dicha decisión.

La lista estructurada de los materiales (*bill of material*) también es una ayuda importante en el diseño de la instalación y la configuración de las celdas de trabajo y las líneas de ensamblado. Una lista estructurada del material proporciona la misma información básica que la lista de partes. Sin embargo, la relación desglosada del material presenta la estructura jerárquica del producto, mediante la identificación de cada ensamble, subensamble y de las partes requeridas o subordinadas de cada uno de éstos. En la figura 2-5 (página 35) se muestra una relación desglosada. El nivel más elevado del producto o ensamble terminado aparece en la parte superior de la lista y se le asigna el nivel cero. Debajo de éste se enlistan los ensambles principales, a los que se asigna el nivel uno (.1). El punto antes del dígito *1* subordina los subensambles principales al ensamble principal. Los componentes que comprende cada subensamble se enlistan bajo cada uno de éstos y se numeran con el nivel dos (..2). A su vez, debajo cada componente se mencionan las partes subordinadas y se numera cada una con el nivel tres (...3). Si un nivel tres dado se compusiera de partes múltiples, éstas se enlistarían a continuación del nivel tres y se les asignaría el número cuatro (....4), y así hasta el infinito. El propósito de los espacios en blanco o puntos antes de cada número de nivel es estructurar (de ahí el nombre de lista *estructurada* de material) cada nivel con el fin de ampliar la legibilidad.

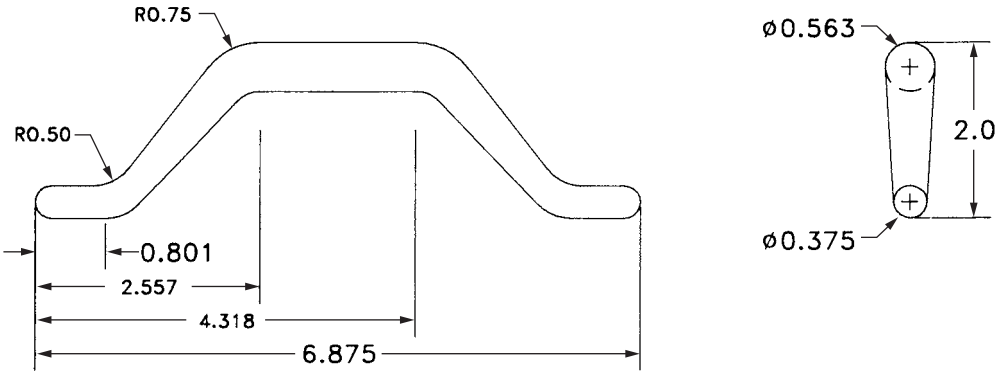


Figura 2-1a Plano tipo del asa de la caja de herramientas.

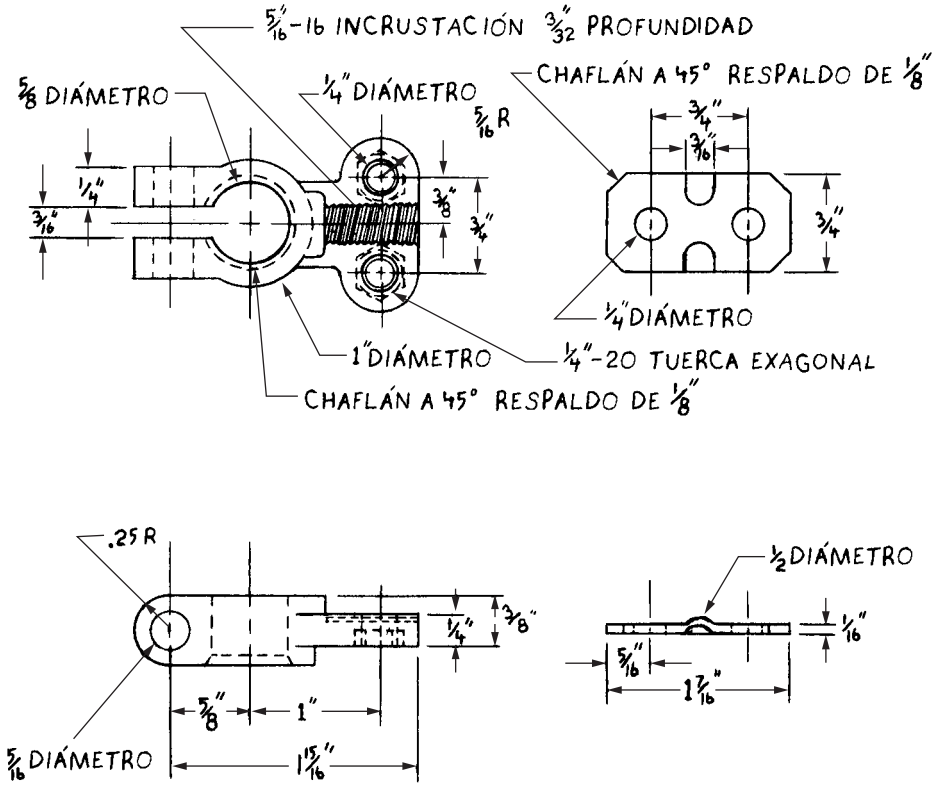


Figura 2-1b Dibujo de la parte para la abrazadera y la placa.

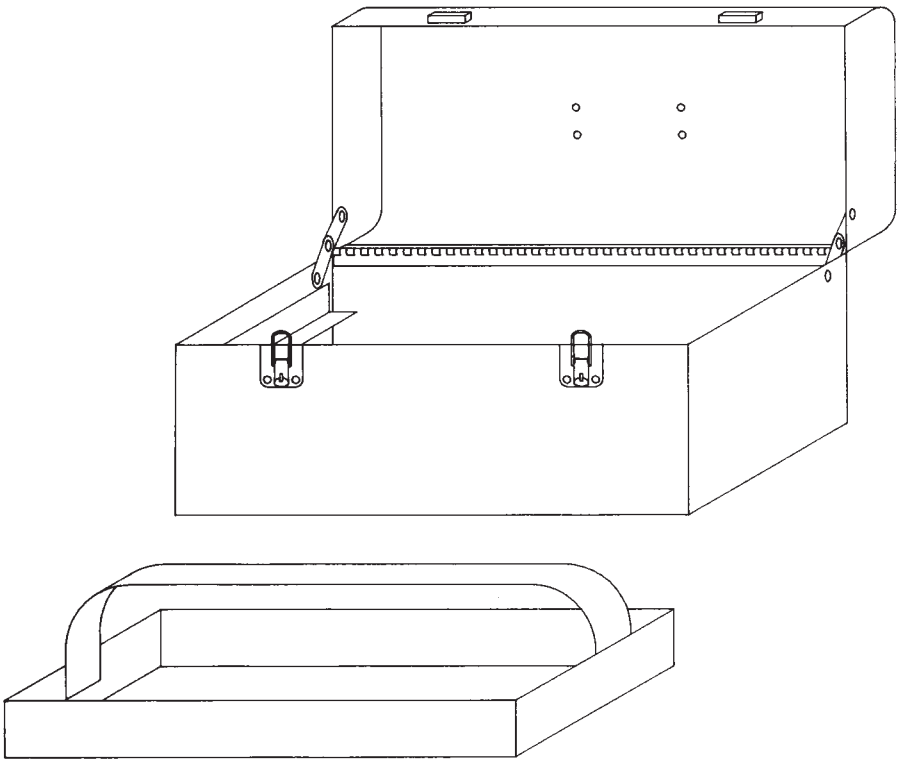


Figura 2-2a Esquema tipo para caja de herramientas con charola.

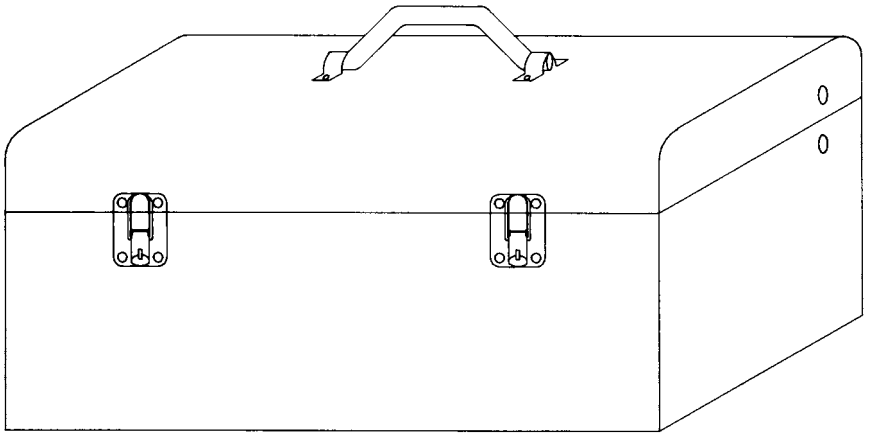


Figura 2-2b Esquema tipo para caja de herramientas —vista en tres dimensiones (3D).

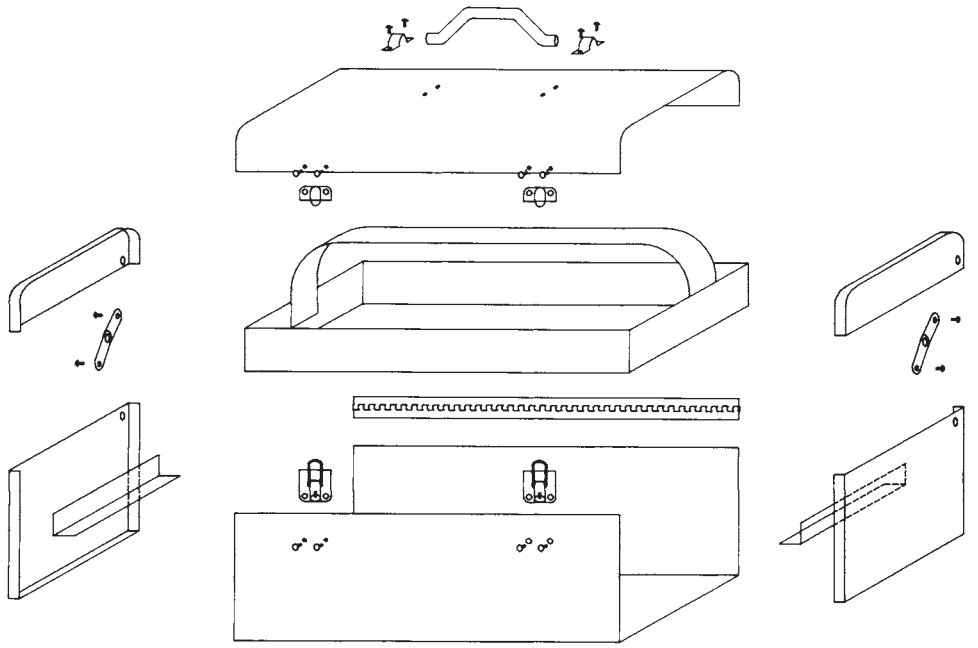


Figura 2-3a Esquema tipo para caja de herramientas —vista desglosada.

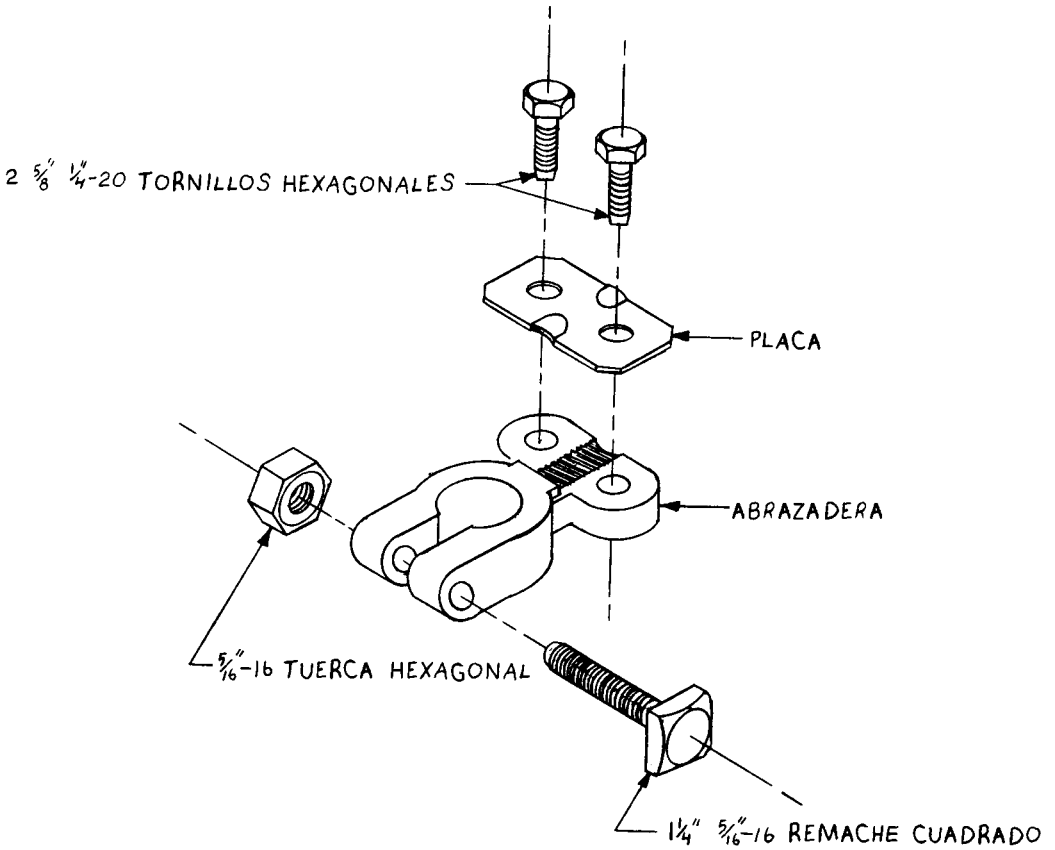


Figura 2-3b Abrazadera para cable de batería —vista desglosada.

Núm. de parte	*Nombre de la parte*	*Cantidad necesaria por unidad*
1	Extremo del cuerpo	2
2	Soporte de la charola	2
SSSAI	Extremo del cuerpo	2
3	Cuerpo	1
SSAI	Ensamble del cuerpo	1
4	Extremo de la cubierta	2
5	Cubierta	1
SSA2	Ensamble de la cubierta	1
6	Bisagra	18”
SA1	Caja de herramientas	1
7	Extremo de la charola	2
8	Cuerpo de la charola	1
9	Asa de la charola	1
SA2	Charola	1
10	Pintura	SR*
11	Asa	1
12	Sujetador	2
13	Remache	4
A1	Caja de herramientas	1
14	Prensador	2
15	Separador	2
16	Remache	8
A2	Caja de herramientas	1
17	Bisagra	2
18	Remache	4
A3	Caja de herramientas	1
19	Lista de empaque	1
20	Tarjeta de registro	1
21	Etiqueta para el nombre	1
22	División	4
23	Bolsa de plástico	1
SA3	Bolsa de las partes	1
24	Cartón	1
25	Cinta	24”
Empaque final		1

*Según se requiera.

Figura 2-4 Lista de partes de una caja de herramientas.

Compañía: ACME, Inc. Preparado por: M.P.S.

Producto: Supergismo Fecha:

Nivel	*Núm. de parte*	*Nombre de la parte*	*Núm. de dibujo*	*Cantidad por unidad*	*Fabricar o comprar*
0	0012	Supergismo	0012	1	Fabricar
.1	0034	Estructura principal	0034	1	Fabricar
.1	0421	Soporte de 4’	0421	2	Fabricar
..2	0344	Correas sujetadoras	0344	4’	Comprar
.1	0113	Inserción de 1/4”	0113	2	Fabricar
..2	0123	Tubo	0123	1	Fabricar
...3	0014	Pintura clara		1 gal/100	Comprar
.1	0019	Abrazadera	0019	3	Fabricar
..2	0177	Tuerca de 1/4-20	0177	4	Comprar
..2	0192	Collar de 3/16”	0192	2	Fabricar
.1	0330	Cilindro	0330	1	Comprar

Figura 2-5 Lista estructurada de materiales (*bill of material*).

Las figuras 2-6 y 2-7 ilustran aún más el vínculo jerárquico de la lista estructurada de materiales. La figura 2-6 muestra dicho vínculo para la caja de herramientas, mientras que la 2-7 muestra el gráfico de ensamblado. El producto final, según se identifica en la última etapa del gráfico de ensamblado (vea la figura 2-7), es la caja de herramientas terminada. En la figura 2-6, la caja de herramientas, al ser el producto terminado o el nivel más alto, está representada por el cero. Al estudiar detalladamente el gráfico de ensamblado (figura 2-7), se observa que los tres ensambles, A1, A2 y A3, son los mayores antes del ensamble del producto final. Estos tres ensambles se numeran como nivel (.1) en la lista estructurada del material. Cada ensamble contiene otros subensambles o componentes menores. Dichos conceptos subordinados se enlistan bajo el ensamble apropiado. Por ejemplo, al estudiar la figura 2-7 se observa que la lista de empaque, tarjeta de registro, etiqueta para el nombre, divisores y bolsa plástica, son “partes” del ensamble A3. Por ello, en la figura 2-6, dichos conceptos se encuentran bajo el nivel A3 y se les asigna el nivel (..2). Ahora intente seguir las estructuras bajo el ensamble A1. Verá que A1 tiene dos subensambles etiquetados como SA1 y SA2. En la figura 2-6 dichos subensambles tienen asignado el nivel (..2), y cada uno se desglosa en sub-subensambles y componentes más pequeños que se numeran en concordancia.

La lista estructurada de material no sólo proporciona los datos en función de la composición del ensamble final, sino también da un panorama valioso del flujo de las partes y los componentes para llegar a él.

Las compañías no fabrican cada una de las partes de sus productos. Las partes que se adquieren ya terminadas se denominan *compras externas* y otros son capaces de fabricarlas de modo más barato. Algunas compañías adquieren todas las partes en el exterior, a éstas se les denomina *plantas de ensamble*. Las partes que “hace” una compañía son requerimientos básicos para la fabricación final de la instalación.

Las *muestras de modelo a mano*, o *prototipos*, son hechos manualmente, son muy costosos y constituyen modelos exactos de lo que el departamento de ingeniería del producto desea fabricar. Estos prototipos no siempre se encuentran disponibles, pero si lo estuvieran serían

Nivel	*Núm. de parte*	*Nombre de la parte*	*Cantidad por unidad*	*Fabricar o comprar*
0		**Caja de herramientas**	**1**	**Fabricar**
.1	**A1**	**Ensamble del cuerpo exterior**	1	Fabricar
..2	SA1	Ensamble del cuerpo	1	Fabricar
...3		Ensamble del extremo del cuerpo	2	Fabricar
....4	1	Extremo del cuerpo	2	Fabricar
....4	2	Soporte de la charola	2	Fabricar
...3	3	Cuerpo	1	Fabricar
..2	SA2	Ensamble de la cubierta	1	Fabricar
...3	5	Cubierta	1	Fabricar
...3	4	Extremo de la cubierta	2	Fabricar
....4	18	Remaches	4	Comprar
....4	17	Bisagra	2	Comprar
...3	SA3	Ensamble del asa de la cubierta	1	Fabricar
....4	11	Asa	1	Fabricar
....4	12	Sujetadores	2	Comprar
....4	13	Remaches	4	Comprar
..2	14	Prensador	2	Comprar
..2	15	Divisor	2	Comprar
..2	16	Remaches	8	Comprar
..2	10	Pintura		Comprar
.1	**A2**	**Ensamble de la charola**	1	Fabricar
..2	7	Extremo de la charola	2	Fabricar
..2	8	Cuerpo de la charola	1	Fabricar
..2	9	Asa de la charola	1	Fabricar
.1	**A3**	**Bolsa de las partes**	1	Fabricar
..2	19	Lista de empaque	1	Comprar
..2	20	Tarjeta de registro	1	Comprar
..2	21	Etiqueta para el nombre	1	Comprar
..2	22	Divisores	4	Comprar
..2	23	Bolsa de plástico	1	Comprar
.1	24	Cartón	1	Comprar
.1	25	Cinta	24”	Comprar

Figura 2-6 Lista estructurada del material para la caja de herramientas.

muy útiles. La habilidad de “sentir” las partes, tomarlas por separado y reensamblarlas, para estudiar cada una y analizar cómo fabricarlas, incrementará su comprensión del producto. El desensamble sistemático de un prototipo, o incluso el de un producto terminado producido por la compañía, es un proceso que ayuda a determinar las etapas lógicas y apropiadas para ensamblarlo. El proceso de desensamble, que con frecuencia se denomina “ingeniería inversa”, tiene la utilidad máxima en la visualización del orden y las etapas del proceso, y debiera sembrar las semillas iniciales para el arreglo de la instalación. El proceso de ingeniería inversa también es un auxiliar en la actividad de diseño y desarrollo del producto.

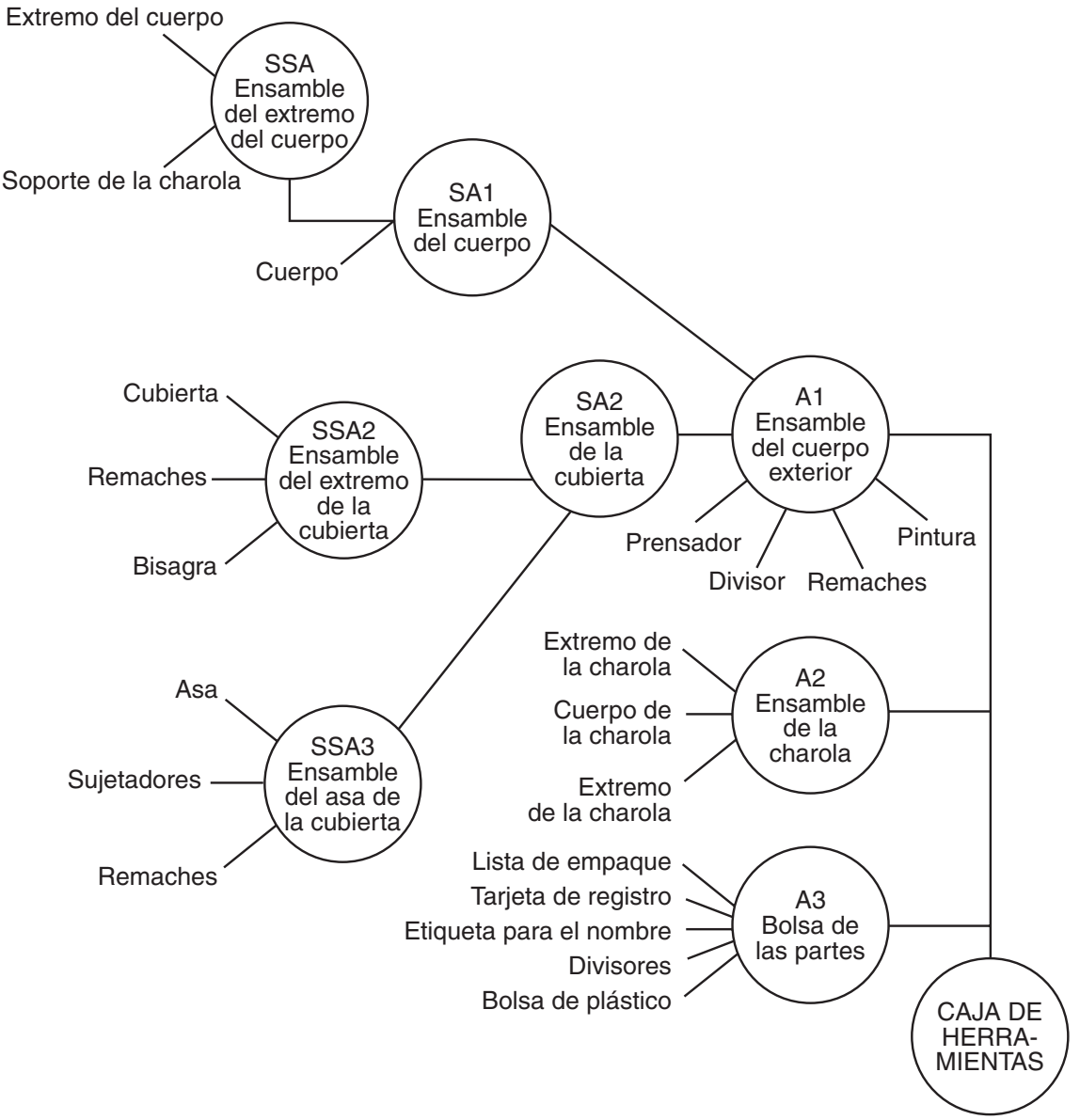


Figura 2-7 Gráfico del ensamble de la caja de herramientas.

Puede señalar etapas o partes que parecen superfluas, defectuosas, difíciles de ajustar o unir a otros componentes. A continuación se mencionan las etapas básicas.

Una muestra de modelo a mano se usaría de la siguiente forma:

1. Desempacar la unidad observando la secuencia de desempacado. Ésta será la información básica para la línea de empaque. Asegúrese de tomar buenas notas; las fotografías también son de utilidad.
2. Ensaye con el producto terminado para ver cómo funciona. Es muy útil una buena comprensión del propósito de la unidad terminada.
3. Desensamble el producto con cuidado. De nuevo anote todo. Después, vuelva a ensamblar el producto. Ésta será su información básica para la línea de ensamblado.
4. Desensamble y estudie cada parte. Decida cuáles partes se van a fabricar en la planta y cuáles se comprarán completas (compras externas).
5. Las partes "fabricadas" —aquellas que se harán en la planta— requieren un estudio a fondo para determinar cómo se obtendrán a partir de la materia prima. Éste es el tema del capítulo siguiente.

Aun sin una muestra de modelo a mano, el planeador de las instalaciones necesita seguir las etapas anteriores —con la excepción de que la información provendrá de dibujos, planos o esquemas. La muestra de modelo a mano hace que el proceso sea más fácil y garantiza mejores resultados.

El departamento de ingeniería del producto es también muy útil para el diseñador de la planta. Podría señalar problemas especiales de la manufactura y las relaciones, las dimensiones y las funciones críticas. El diseñador del producto y el de las instalaciones necesitan trabajar juntos, muy cercanamente. La comunicación y la cooperación abiertas entre los dos diseñadores son un concepto bastante nuevo en la ingeniería. Con frecuencia, al enfoque tradicional para el diseño del producto se le ha denominado enfoque "desde la barrera", pues las barreras ideológicas y territoriales obstruyen la comunicación entre los diferentes segmentos de una organización. Al enfrentar el desarrollo del producto, una falla en la comunicación podría ocasionar que se diseñara un producto no deseado por el cliente; la definición de estándares y especificaciones que el departamento de manufactura no es capaz de cumplir, o la requisición de materiales y componentes que el departamento de compras no obtenga de manera oportuna. La ingeniería concurrente intenta unificar todos los aspectos del diseño, el desarrollo y la manufactura del producto, de modo que los problemas puedan detectarse a tiempo y se solucionen durante las etapas de planeación.

INFORMACIÓN DE LA POLÍTICA DE ADMINISTRACIÓN

El término *administración* se refiere a los empleados de nivel superior que son responsables del desempeño financiero de una compañía. La información que tendrá algún efecto en el diseño de las instalaciones de la planta es de los tipos siguientes: **1.** política de inventario y pensamiento esbelto, **2.** política de inversión, **3.** programación de arranque, **4.** decisiones de fabricar o comprar, **5.** relaciones organizacionales, y **6.** estudios de factibilidad. Los diseñadores de instalaciones deben entender estas políticas a profundidad, de otra manera desperdiciarían mucho tiempo.

Política de inventario

La política de inventario de la empresa podría ser tan sencilla como "proporcionar espacio durante un mes para el suministro de materias primas, trabajos en proceso y bienes terminados". Dichos inventarios requerirían espacio e instalaciones, pero una vez que se ha determinado la cantidad por almacenar, es fácil calcular tales requerimientos. En el capítulo 8 se estudiarán las distribuciones de tiendas y almacenes. Las filosofías JIT y *kanban* reducen los inventarios y, por tanto, el espacio, las instalaciones y el costo. Los trabajos en proceso (WIP) requieren espacio y un inventario menor significa menos de todo —lo cual es la definición de *manufactura esbelta* y *pensamiento esbelto.*

Pensamiento esbelto y *desperdicio* como parte de la política de administración

Taiichi Ohno (1912-1990), ejecutivo de Toyota que fue enemigo acérrimo del desperdicio, desarrolló el sistema de producción Toyota, en el que se basa la filosofía de la manufactura esbelta. La palabra *muda* en japonés significa "desperdicio" y se refiere, en específico, a cualquier actividad humana que consume recursos y no crea *valor.* Ohno identificó los primeros seis tipos de *desperdicio:*

1. Errores que requieren rectificación; cualquier trabajo repetido es una buena indicación de *desperdicio.*
2. La producción de inventario que nadie quiere en ese momento desperdicia espacio y estimula daños y obsolescencia en los productos.
3. Las etapas inútiles en los procesos, que podrían eliminarse sin perjuicio del valor del producto final, son *desperdicio.*
4. *Muda* o desperdicio es cualquier movimiento de gente o inventario que no crea valor.
5. Las personas ociosas que esperan inventario son una indicación de que la planta no está balanceada. Todos los trabajadores deben dedicar aproximadamente la misma cantidad de esfuerzo o se crearán cuellos de botella.
6. Los bienes producidos para los que no existe demanda son *desperdicio.* Si usted manufactura con demasiada anticipación corre el riesgo de que no haya demanda de su artículo porque haya surgido alguno mejor.

Hay más causas y ejemplos de *desperdicio* cerca de usted; tan sólo necesita estar alerta. Por fortuna existe un remedio poderoso para el *desperdicio*: el *pensamiento esbelto* y la *manufactura esbelta.* Estos conceptos animan a los diseñadores a pensar en el valor, a emprender acciones con una mejor secuencia, a conducir las actividades sin interrupción siempre que alguien las solicite y a ejecutarlas con mayor eficacia cada vez. En pocas palabras, el pensamiento esbelto proporciona un modo de hacer más con menos: menos esfuerzo humano, menos equipo, menos tiempo y menos espacio.

Como se dijo, el pensamiento esbelto es parte importante del proceso de diseño de instalaciones, en especial, en los niveles reducidos de inventario, en el menor movimiento de materiales y gente, y en el mejor balance de la carga de trabajo entre los empleados.

Política de inversión

La política de inversión corporativa se comunica en términos de *rendimiento sobre la inversión* (*ROI*). *Rendimiento* es otra manera de decir "los ahorros", e *inversión* es el costo de implantar

la idea para obtener dichos ahorros. Si un proyecto ahorra un porcentaje suficientemente alto con respecto al costo, entonces es una buena idea. Por ejemplo, el proyecto del diseño de instalaciones podría aprobarse con un ROI de 33 por ciento. El 33 por ciento también representa un periodo de recuperación de tres años. Los proyectos de diseño de instalaciones constituyen una de las pocas inversiones que la dirección permitiría con un periodo de recuperación tan largo. La mayoría de trabajos para reducir el costo requiere un ROI superior a 100 por ciento, o un periodo de retorno menor a un año.

Al presentar a la dirección la propuesta de diseño de instalaciones de manufactura con objeto de obtener su aprobación, lo que usted busca en realidad es que apruebe gastar el dinero presupuestado. El ingeniero de proyecto debe combinar los costos estimados de proveedores, vendedores, personal de mantenimiento y otros parecidos y, después, preparar el presupuesto. Como ya se dijo, es de importancia crítica que el planeador de las instalaciones se mantenga dentro del presupuesto.

Programación del arranque

Suponga que le piden diseñar una instalación para producir un artículo nuevo. Generalmente, se le diría algo como esto:

Proporcione una instalación para manufacturar 1,200 parrillas de gas por día, para comenzar el 15 de noviembre de este año.

Todo el trabajo necesario para cumplir con la tarea debe proyectarse hacia atrás a partir del 15 de noviembre. A continuación se presenta un ejemplo de la programación:

Etapa del proceso	*Fecha de terminación*	*Fecha de terminación real*
Arranque de la producción	15 de noviembre	
Instalación del equipo	1 de noviembre	
Obtener la aprobación para ordenar el equipo	1 de octubre	
Terminar el plan maestro	15 de septiembre	
Desarrollar el plan gráfico y asignar áreas	1 de septiembre	
Seleccionar equipo para el manejo de materiales	25 de agosto	
Desarrollar los requerimientos de espacio total	20 de agosto	
Distribución de la estación de trabajo	15 de agosto	Usada como control
Determinar las relaciones de actividades	10 de agosto	
Identificar las necesidades de las oficinas	5 de agosto	
Identificar las necesidades de los servicios para el personal y la planta	1 de agosto	
Desarrollar los requerimientos de flujo	25 de julio	
Balancear las líneas de ensamblado	15 de julio	
Determinar el número de máquinas	15 de julio	
Establecer estándares y tasa de la planta	10 de julio	
Determinar la secuencia de ensamblado	6 de julio	
Desarrollar hojas de ruta	5 de julio	
Tomar las decisiones de fabricar o comprar	2 de julio	
Determinar lo que se fabricará y en qué cantidad	1 de julio	

Decisiones de fabricar o comprar

¿La compañía fabricará esta parte (fabricar a partir de materias primas), o la comprará terminada a un proveedor que se especializa en esa clase de producto? (Vea la figura 2-8). En general, la decisión es muy directa y fácil. Si se trata de una compañía existente con una línea de producto, sabe lo que puede manufacturarse y lo que no. Si la compañía es nueva, tal vez compre todas las partes y sólo tenga una operación de ensamble. Conforme avanza, tal vez comience con la fabricación por su cuenta de algunas partes. Ninguna planta elaboraría sus propias tuercas, remaches, tornillos, llantas, medidores, rodamientos, cintas, y otros artículos similares; pero alguien podría tener equipo especial para hacer la parte en cuestión más rápido, mejor y a un costo menor de aquél en que incurriría. La sección de fabricación de su departamento de manufactura siempre está en competencia con la de compras porque la manera más barata de proveer la parte al departamento de ensamblado es la mejor fuente.

Las partes fabricadas son el tema de la distribución de la fabricación. Si no se fabrica ningún elemento, no se necesita la distribución de ningún departamento de fabricación. Si se manufacturan muchas partes, surge un proyecto grande de distribución.

Relaciones organizacionales

Un organigrama dice mucho al diseñador de las instalaciones (vea la figura 2-9). El número de empleados determina el tamaño de muchas áreas, tales como cafeterías, sanitarios, oficinas e instalaciones médicas. Las relaciones entre las distintas funciones determinan los requerimientos de proximidad de unos departamentos con otros.

Estudios de factibilidad

A la dirección le recomiendan muchas ideas de productos nuevos. Estas ideas necesitan evaluarse antes de ser aceptadas como proyectos nuevos de diseño de instalaciones de manufactura. Uno de los métodos empleados para determinar si cierta idea en proyecto es funcional es el *estudio de factibilidad*, éstos generalmente son ejecutados por el nivel más alto de gerentes e ingenieros de proyecto. De los muchos estudios de factibilidad que realiza una compañía, es común que sólo resulte un número pequeño de proyectos. Por ejemplo, en una compañía juguetera específica, de cada cuatro propuestas sólo se aprobó un proyecto.

CONCLUSIÓN

El departamento de diseño de ingeniería del producto proporciona planos y una relación de los materiales que ayudan a los diseñadores de las instalaciones a entender qué partes se fabricarán dentro de la planta y cuáles se comprarán a proveedores externos. Aquellas partes que se harán (manufacturarán) dentro de la planta requerirán planes de manufactura, como se estudiará en los capítulos 3 y 4.

El departamento de marketing investiga la demanda del mercado potencial para los productos nuevos o rediseñados, y determina la cantidad por producir en un periodo de tiempo. El diseñador desglosa la cantidad en unidades por día con el fin de determinar el número de máquinas y de personas que se necesitarán.

Núm. de parte	*Nombre de la parte*	*Cantidad necesaria por unidad*	*Fabricar o comprar*
1	Extremos del cuerpo	2	F
2	Soporte de la charola	2	F
SSSA1	Extremo del cuerpo	2	
3	Cuerpo	1	F
SSA1	Ensamble del cuerpo	1	
4	Extremo de la cubierta	2	F
5	Cubierta	1	F
SSA2	Ensamble de la cubierta	1	
6	Bisagra	18”	F
SA1	Caja de herramientas	1	
7	Extremos de la charola	2	F
8	Cuerpo de la charola	1	F
9	Asa de la charola	1	F
SA2	Charola	1	
10	Pintura	Según se requiera	C
11	Asa	1	C
12	Sujetadores	2	C
13	Remache	4	C
A1	Caja de herramientas		
14	Prensador	2	C
15	Separador	2	C
16	Remaches	8	C
A2	Caja de herramientas		
17	Bisagras	2	C
18	Remaches	4	C
A3	Caja de herramientas		
19	Lista de empaque	1	C
20	Tarjeta de registro	1	C
21	Etiqueta para el nombre	1	C
22	Divisores	4	C
23	Bolsa de plástico	1	C
SA3	Bolsa de las partes	1	
24	Cartón	1	C
25	Cinta	24”	C
Empaque final		1	1

Figura 2-8 Decisiones de fabricar o comprar para la caja de herramientas.

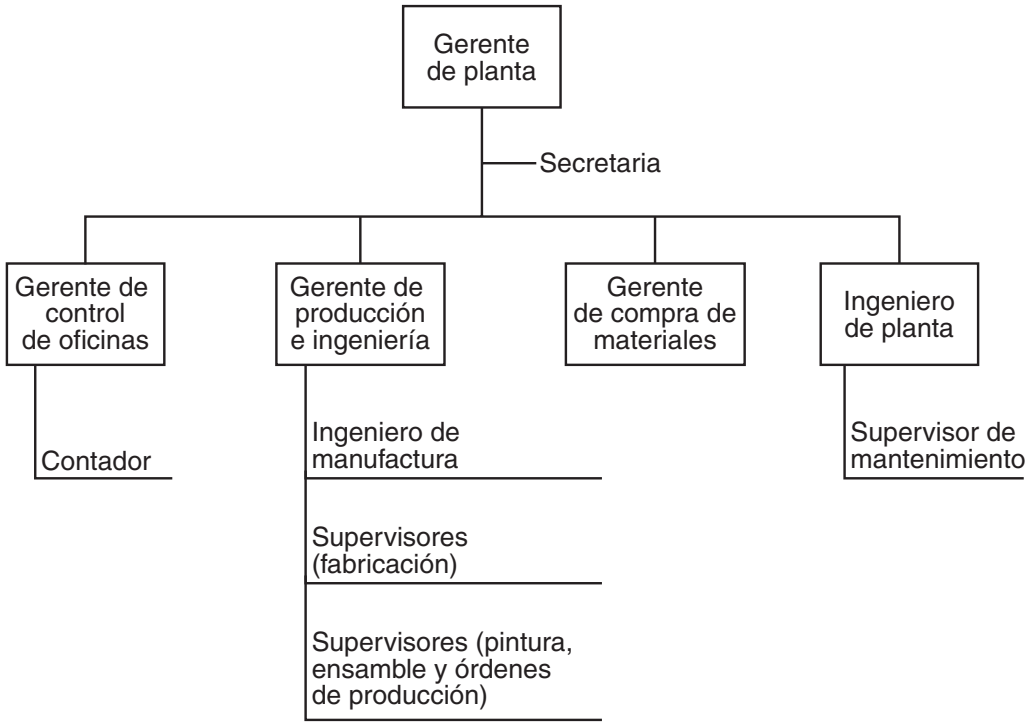


Figura 2-9 Organigrama de la planta de manufactura de cajas de herramientas.

La política de administración comunica las actitudes y las decisiones de la compañía. Los factores que tienen efectos significativos sobre el proyecto de diseño de las instalaciones y manejo de materiales son el rendimiento sobre la inversión, la política de inventario, las fechas en que se requiere arrancar, entre otros. El diseñador no seguiría adelante si no cuenta con esta información.

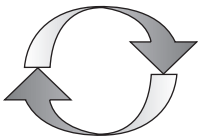
Un proyecto de distribución de planta o manejo de materiales no comenzará sino hasta que otros departamentos ofrezcan la información necesaria. Por ejemplo, los diseñadores necesitan datos sobre el diseño del producto, marketing y la política de administración, antes de iniciar un proyecto.

PREGUNTAS

1. Conforme se adentra en el diseño de sus instalaciones de manufactura, ¿qué datos buscaría en las fuentes siguientes, y cómo afectaría dicha información a su planeación? Haga un análisis breve.

   a. Marketing.
   b. Diseño del producto.
   c. Política administrativa.

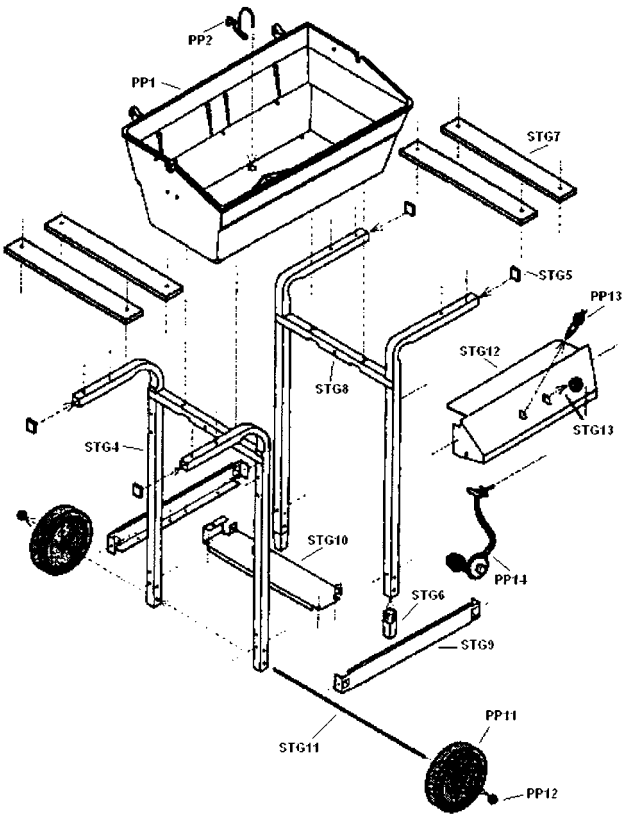
2. ¿Qué información proporciona marketing?
3. ¿Qué es tiempo de procesamiento o tasa de la planta (valor *R*)?
4. ¿Qué se incluye en el cálculo del tiempo de procesamiento o tasa de la planta (valor *R*)?
5. ¿Por qué es tan importante el valor *R*?
6. ¿Qué información obtienen los diseñadores del departamento de diseño del producto?
7. ¿Qué información proporciona la política de administración?
8. ¿Qué es una decisión de fabricar o comprar?
9. ¿Quién está en competencia con el departamento de fabricación? ¿Por qué?
10. ¿Cuáles son las seis causas de desperdicio?
11. Explique cómo usar la lista estructurada de materiales (*bill of materials*).
12. ¿Cuál es la diferencia entre una lista sencilla de materiales plana y otra estructurada?
13. ¿Por qué es importante la información adicional que brinda la lista estructurada de materiales (*bill of materials*)?
14. Explique el concepto de ingeniería concurrente. ¿Cómo se relaciona con la planeación de instalaciones?



PROYECTO EN LA PRÁCTICA

En esta sección se continúa con el estudio de caso de *Shade Tree Grill*. En relación con lo estudiado en este capítulo, usted calculará el tiempo de procesamiento o valor *R*. Con la ayuda de los departamentos de ingeniería, fabricación y compras se desarrollan y presentan el plano desglosado de la parrilla, la lista estructurada de los materiales (*bill of materials*), las partes que se manufacturan y las que se compran, los dibujos y las especificaciones. Se obtuvieron los datos de desperdicio de varios procesos y departamentos, con base en los registros históricos y otras fuentes de información.

Plano desglosado de la parrilla



Shade Tree Grills

Lista estructurada de los materiales (*bill of materials*)

Nivel	Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo	Cantidad/Unidad	Fabricar/Comprar	
0	STG1	Parrilla empacada	DWG1	1	F	
. 1	PP1	Pieza fundida inferior de la parrilla	PDWG1	1		C
. 1	PP2	Alambre de la lata para grasa	PDWG2	1		C
. 1	PP3	Pieza fundida superior de la parrilla	PDWG3	1		C
. 1	PP4	Asa de madera	PDWG4	1		C
. 1	STG4	Patas	DWG4	4	F	
. . 2	STG8	Soporte superior	DWG8	2	F	
. 1	STG5	Tubos de inserción	DWG5	4	F	
. 1	STG6	Extensiones de las patas	DWG6	2	F	
. 1	STG7	Fajillas de madera	DWG7	4	F	
. 1	STG9	Soporte inferior	DWG9	2	F	
. 1	STG10	Sujetador del tanque	DWG10	1	F	
. 1	STG11	Eje	DWG11	1	F	
. 1	PP11	Ruedas	PDWG11	2		C
. 1	PP12	Cubiertas del centro	PDWG12	2		C
. 1	STG12	Panel de control	DWG12	1	F	
. 1	STG13	Perilla	DWG13	1	F	
. 1	PP13	Encendedor	PDWG13	1		C
. 1	PP14	Ensamble de válvula	PDWG14	1		C
. 1	PP15	Elemento de ignición	PDWG15	1		C
. 1	PP16	Parrilla asadora	PDWG16	1		C
. 1	PP17	Grava	PDWG17	1		C
. 1	PP19	Escudo de calor	PDWG19	1		C
. 1	PP20	Bolsa de accesorios	PDWG20	1		C
. . 2	PP5	Remaches de 10-24 × 1/2"	PDWG5	12		C
. . 2	PP6	Tuercas de 10-24	PDWG6	3		C
. . 2	PP7	Lavador	PDWG7	1		C
. . 2	PP8	Tornillos de 10-24 × 1 3/8"	PDWG8	13		C
. . 2	PP9	Remache #6-32 × 3/8"	PDWG8	2		C
. . 2	PP10	Chaveta	PDWG10	2		C
. . 2	PP105	Alfiler	PDWG105	2		C

Tiempo de procesamiento o valor *R*

3 turnos de 8 horas
turno de 8 horas × 60 minutos = 480 minutos

480 minutos
− 30 minutos de almuerzo
− 10 minutos de descanso
− 10 minutos de descanso
430 minutos disponibles en total (por turno)

430 minutos × 3 turnos = 1,290 minutos por día

Para la planta se supone una eficiencia de 75 por ciento:
1,290 minutos × 75 por ciento = 967.5 minutos

Al producir 1,500 parrillas por día:
967.5 minutos por 1,500 parrillas = .645 minutos por parrilla

Shade Tree Grills

Tasas de desperdicio

Núm. de parte	Nombre de la parte	Cantidad por día	Operaciones necesarias	Desecho calculado	Partes por día
STG4	Patas	6,000	Cortar	106	6,106
			Perforar		
			Doblar		
			Pulir		
			Soldar		
			Pintar		
STG7	Fajillas de madera	7,500	Cortar	133	7,633
			Perforar		
			Lijar		
STG12	Panel de control	1,500	Recortar	19	1,519
			Prensar		
			Doblar		
			Pulir		
STG8	Soporte superior	3,000	Recortar	23	3,023
			Prensar		
			Doblar		
STG9	Soporte inferior	3,000	Recortar	31	3,031
			Prensar		
			Doblar		
			Perforar		
STG5	Tubos de inserción	6,000	Moldear	60	6,060
STG13	Perilla	1,500	Moldear	15	1,515
STG6	Extensiones de las patas	3,000	Moldear	30	3,030
STG10	Sujetador del tanque	1,500	Recortar	16	1,516
			Prensar		
			Doblar		
			Perforar		
STG11	Eje	1,500	Cortar	16	1,516

Tasas de desperdicio de las operaciones	
Cortar	1%
Perforar	0.25%
Recortar	0.50%
Prensar	0.25%
Doblar	—
Soldar	—
Pulir	.50%
Lijar	.50%
Pintar	—
Ensamblar	—
Inspeccionar	—
Empacar	—
Recortar	.10%
Moldear	—

CAPÍTULO

3

Estudio de tiempos

Los estándares de tiempo se encuentran entre los elementos de información más importantes que requiere el planeador de instalaciones. Los estándares de tiempo o manufactura se usan para distintos propósitos dentro de una organización. Sus usos incluyen asignación y control de costos y presupuestos; producción y planeación y administración de inventarios; evaluación del desempeño y pago de incentivos, donde los haya; y evaluación de métodos alternativos de operación. Para el planeador de instalaciones, el tiempo estándar es el dato principal para determinar el número que se requiere de personas y de estaciones de manufactura para alcanzar la producción programada, y para calcular el número de máquinas, celdas de manufactura, balanceo de la línea de ensamble, y asignación de personal. En última instancia, esta información se usa para calcular los requerimientos de espacio de todos los centros de manufactura y los de las instalaciones comunes de la producción.

Este capítulo consta de cuatro partes:

1. Definición de estudio de tiempos y estándares de tiempo.
2. Importancia y usos de los estándares de tiempo.
3. Técnicas del estudio de tiempos.
4. Estándares de tiempo para el diseño de instalaciones de manufactura.

¿QUÉ ES UN ESTÁNDAR DE TIEMPO?

Para que pueda comprender la importancia y los usos de un estudio de tiempos debe entender lo que significa el término *estándar de tiempo*. Un estándar de tiempo se define como

"el tiempo requerido para producir un artículo en una estación de manufactura, con las tres condiciones siguientes: **1.** operador calificado y bien capacitado; **2.** manufactura a ritmo normal, y **3.** hacer una tarea específica". Estas tres condiciones son esenciales para entender el estudio de tiempos y, por tanto, el análisis siguiente. El proceso por el que se establecen estándares de tiempo es el estudio de tiempos.

Se requiere un *trabajador calificado y bien capacitado.* Generalmente es la experiencia lo que hace de un operador alguien calificado y bien capacitado; el tiempo necesario para alcanzar la calificación varía según el trabajo y la persona. Por ejemplo, los operadores de máquinas de coser, soldadores, tapiceros, maquinistas, y muchos otros trabajos de alta tecnología, requieren largos periodos de aprendizaje. El error más grande que comete el personal inexperto en la realización de estudios de tiempo es estudiar los tiempos de alguien en un momento demasiado prematuro. Una buena regla práctica es comenzar con una persona calificada, capacitada por completo, y darle dos semanas en el trabajo antes de hacer el estudio de tiempos. En tareas o trabajos nuevos, se usan sistemas de estándares predeterminados de tiempos (PTSS, siglas de *predetermined time standard systems*). Al principio, estos estándares parecen difíciles de alcanzar, porque los tiempos se establecen para operadores calificados bien entrenados.

El *ritmo normal* es aquél al que un operador capacitado, en condiciones normales, realiza una tarea con un nivel normal de esfuerzo, es decir, aquel con el cual un operador puede mantener un ritmo confortable: ni demasiado rápido ni demasiado lento. Para cada trabajo sólo se utiliza un estándar de tiempo, aun si las diferencias individuales entre operadores arrojan resultados diferentes. El ritmo normal es confortable para la mayoría de la gente. Al desarrollar los estándares de tiempo para una tarea, se usa como tiempo normal el 100 por ciento del tiempo con ritmo normal. Si se juzga que el ritmo es más lento o más rápido del normal, se hacen los ajustes correspondientes. Algunos ejemplos de ritmo normal son los siguientes:

1. Caminar 264 pies en 1.000 minutos (3 millas por hora).
2. Repartir 52 cartas en cuatro mazos iguales en .500 minutos (en una mesa de bridge).
3. Llenar un tablero de 30 alfileres en .435 minutos (con el empleo de ambas manos).

Para calificar este concepto también se usan películas de capacitación.

Una *tarea específica* es una descripción detallada de lo que debe lograrse. La descripción de la tarea debe incluir lo siguiente:

1. Método prescrito de trabajo.
2. Especificación de materiales.
3. Herramientas y equipo que serán usados.
4. Posiciones del material que entra y sale.
5. Requerimientos adicionales, como seguridad, calidad, limpieza y tareas de mantenimiento.

El estándar de tiempo es bueno sólo para este conjunto de condiciones específicas. Si alguna condición cambia, el estándar de tiempo también debe cambiar. Es importante la descripción escrita de un estándar de tiempo, pero las matemáticas son aún más importantes. Si un trabajo requiere 1.000 minuto estándar para producir (figura 3-1), se producirían 60 piezas por hora y tomará .01667 horas fabricar una unidad, o 16.67 horas hacer 1,000 unidades. En el estudio de tiempos siempre se utilizan minutos decimales debido a que así las matemáticas son más fáciles. Se requieren los tres números siguientes para comunicar un estándar de tiempo:

Minutos del estándar de tiempo	*Piezas por hora*[a]	*Horas por pieza*[b]	*Horas por 1,000 piezas*[c]
1.000	60	.01667	16.67
.500	120	.00833	8.33
.167	359	.00279	2.79
2.500	24	.04167	41.67
.650	—	—	—
.050	—	—	—

[a]Las piezas por hora se calculan dividiendo los minutos del estándar de tiempo entre 60 minutos por hora.

[b]Las horas por pieza se calculan con la división de las piezas por hora entre una hora $(1/x)$.

[c]Las horas por 1,000 piezas se calculan con la multiplicación de las horas por pieza por 1,000 piezas.

Figura 3-1 Práctica de cálculos matemáticos para desarrollar estándares de tiempo.

1. Minutos decimales (siempre con tres cifras decimales, p. ej., .001).
2. Piezas por hora (redondeadas a números enteros, a menos que sean menos de 10 por hora).
3. Horas por pieza (siempre con cinco cifras decimales, p. ej., .00001).

Muchas compañías usan horas por 1,000 piezas porque los números son más comprensibles y significativos.

La figura 3-2 es una tabla de conversión de estándares de tiempo que sirve como referencia rápida cuando sea necesario. Puede usarla cuando se conozcan los minutos por unidad, las horas por unidad, las unidades por hora, o las unidades por ocho horas, y requiera encontrar los otros tres números del estándar. También se emplea para establecer las metas para las líneas de ensamble o las celdas de manufactura. Un uso adicional interesante es cuando se integran trabajos y se requiere un estándar nuevo para la combinación de ellos. Practique con esta tabla para entender la relación entre los diferentes números que conforman el "tiempo estándar". Por ejemplo, si necesita combinar dos trabajos cuyos estándares son de .72 minutos por pieza u .83 piezas por hora, y .28 minutos por pieza o 214 piezas por hora, ¿cuál es el estándar nuevo? Sume .72 más .28 para obtener 1.00 minutos, o 60 piezas por hora combinada.

Ahora que comprende lo que es un estándar de tiempo, verá por qué está considerado como uno de los elementos más importantes de la información que se genera en el departamento de manufactura.

IMPORTANCIA Y USOS DEL ESTUDIO DE TIEMPOS

La importancia de los estándares de tiempo se ilustra con tres estadísticas: 60, 85 y 120 por ciento de desempeño. Es común que una operación que no está dentro de los estándares de tiempo trabaje 60 por ciento del tiempo. Aquellas operaciones que trabajan dentro de los estándares de tiempo, lo hacen al 85 por ciento de desempeño normal. Este incremento en la productividad es igual al 42 por ciento, aproximadamente. En una planta pequeña de 100 personas, esta mejora es igual a 42 personas adicionales o a un ahorro cercano a un millón de dólares al año. El estándar de tiempo, además de muy importante, también es

Minutos estándar	*Horas estándar*	*Unidades por hora*	*Unidades por 8 horas*	Minutos *estándar*	*Horas estándar*	*Unidades por hora*	*Unidades por 8 horas*
480	8.000	.125	1.0	.98	.01633	61.22	489.80
240	4.000	.250	2.0	.96	.01600	62.50	500.00
160	2.667	.4	3.0	.94	.01567	63.83	510.64
120	2.000	.5	4.0	.92	.01533	65.22	521.74
96	1.600	.6	5.0	.9	.01500	66.67	533.33
80	1.333	.8	6.0	.88	.01467	68.18	545.45
70	1.167	.9	6.9	.86	.01433	69.77	558.14
60	1.000	1.0	8.0	.84	.01400	71.43	571.43
50	.833	1.2	9.6	.82	.01367	73.17	585.37
48	.800	1.2	10.0	.8	.01333	75.00	600.00
45	.750	1.3	10.7	.78	.01300	76.92	615.38
40	.667	1.5	12.0	.76	.01267	78.95	631.58
38	.633	1.6	12.6	.74	.01233	81.08	648.65
35	.583	1.7	13.7	.72	.01200	83.33	666.67
32	.533	1.9	15.0	.7	.01167	85.71	685.71
30	.500	2.0	16.0	.68	.01133	88.24	705.88
28	.467	2.1	17.1	.66	.01100	90.91	727.27
26	.433	2.3	18.5	.64	.01067	93.75	750.00
25	.417	2.4	19.2	.62	.01033	96.77	774.19
24	.400	2.5	20.0	.6	.01000	100.00	800.00
23	.383	2.6	20.9	.58	.00967	103.45	827.59
22	.367	2.7	21.8	.56	.00933	107.14	857.14
21	.350	2.9	22.9	.54	.00900	111.11	888.89
20	.333	3.0	24.0	.52	.00867	115.38	923.08
19	.317	3.2	25.3	.5	.00833	120.00	960.00
18	.300	3.3	26.7	.48	.00800	125.00	1,000.00
17	.283	3.5	28.2	.46	.00767	130.43	1,043.48
16	.267	3.7	30.0	.44	.00733	136.36	1,090.91
15	.250	4.0	32.0	.42	.00700	142.86	1,142.86
14	.233	4.3	34.3	.4	.00667	150.00	1,200.00
13	.217	4.6	36.9	.38	.00633	157.89	1,263.16
12	.200	5.0	40.0	.36	.00600	166.67	1,333.33
11	.183	5.5	43.6	.34	.00567	176.47	1,411.76
10	.167	6.0	48.0	.32	.00533	187.50	1,500.00
9	.150	6.7	53.3	.3	.00500	200.00	1,600.00
8	.133	7.5	60.0	.28	.00467	214.29	1,714.29
7	.117	8.6	68.6	.26	.00433	230.77	1,846.15
6	.100	10.0	80.0	.24	.00400	250.00	2,000.00
5	.083	12.0	96.0	.22	.00367	272.73	2,181.82
4	.067	15.0	120.0	.2	.00333	300.00	2,400.00
3	.050	20.0	160.0	.18	.00300	333.33	2,666.67
2	.033	30.0	240.0	.16	.00267	375.00	3,000.00
1	.017	60.0	480.0	.14	.00233	428.57	3,428.57
				.12	.00200	500.00	4,000.00
				.1	.00167	600.00	4,800.00
				.08	.00133	750.00	6,000.00
				.06	.00100	1,000.00	8,000.00
				.04	.00067	1,500.00	12,000.00
				.02	.00033	3,000.00	24,000.00

Figura 3-2 Tabla de conversión de estándares de tiempo: minutos, horas, piezas por hora y piezas por ocho horas.

muy eficaz en cuanto a costos. El desempeño promedio de las plantas industriales con planes de pago de incentivos es de 120 por ciento.

El estándar de tiempo se usa para lo siguiente:

1. Determinar el número de máquinas-herramientas por comprar. En el diseño de instalaciones, ¿cómo calcularía de otro modo este importante elemento de información para el diseño de instalaciones de manufactura?
2. Definir el número de personal de producción por contratar. De nuevo, ésta es una parte muy importante de la información cuando se determinan los requerimientos de espacio de las instalaciones.
3. Calcular los costos de manufactura y los precios de venta.
4. Programar las máquinas, las operaciones y el personal para que realicen el trabajo y hagan entregas a tiempo con inventarios pequeños. Esto es de lo que tratan el pensamiento esbelto y la manufactura esbelta.
5. Obtener el balanceo de la línea de ensamble y la velocidad del transportador de montaje, asignar trabajos en las celdas de manufactura con la cantidad correcta de trabajo, y balancear las celdas de manufactura. Esta información determina las distribuciones de la celda de manufactura y línea de ensamble.
6. Determinar el desempeño individual de cada trabajador e identificar y corregir las operaciones problemáticas. Ésta es la filosofía básica del *kaizen*.
7. Pagar incentivos por el desempeño excepcional del equipo o del individuo.
8. Evaluar las ideas para reducir costos y adoptar el método más económico con base en el análisis de costos, no en las opiniones.
9. Evaluar las compras de equipo nuevo para justificar el desembolso.
10. Desarrollar presupuestos de operación personal para medir el desempeño de la administración.

A continuación se presenta el análisis de cada uno de estos usos del estudio de tiempos. Como planeador de las instalaciones de la compañía, ¿cómo respondería las preguntas siguientes sin estándares de tiempo?

1. ¿Cuántas máquinas se necesitan?

Una de las primeras preguntas que surgen cuando se establece una operación nueva, cuando se inicia la producción o un producto nuevo, es: "¿Cuántas máquinas necesitamos?" La respuesta depende de dos partes de información:

a. ¿Cuántas piezas necesitamos manufacturar por turno?
b. ¿Cuánto tiempo toma manufacturar una parte? (Éste es el estándar de tiempo.)

1. El departamento de marketing quiere que se hagan 2,000 vagones por turno de ocho horas.
2. Toma .400 minutos formar el cuerpo del vagón en una prensa.
3. Hay 480 minutos por turno (ocho horas del turno por 60 minutos por hora).
4. Se restan 50 minutos de tiempo libre por turno (recesos, limpieza, etc.).
5. Hay 430 minutos disponibles por turno al 100 por ciento.
6. Con base en la historia o las expectativas, se supone un rendimiento de 75 por ciento ($.75 \times 430 = 322.5$).
7. Hay 322.5 minutos efectivos para producir 2,000 unidades.
8. $\frac{322.5}{2{,}000 \text{ unidades}} = .161$ minutos por unidad o 6.21 partes por minuto.

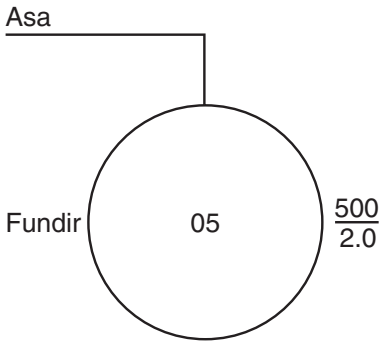
Los .161 minutos por unidad se denominan tiempo del proceso o tasa de producción de la planta (como usted recuerda, el tiempo del proceso son los minutos disponibles divididos entre la producción deseada). Por tanto, cada operación en la planta debe producir una parte cada .161 minutos, entonces, ¿cuántas máquinas se necesitan para esta operación?

$$\frac{\text{Tiempo estándar} = .400 \text{ minutos por unidad}}{\text{Tasa de producción de la planta: } .161 \text{ minutos por unidad}} = 2.48 \text{ máquinas}$$

Esta operación requiere 2.48 máquinas. Si otras operaciones necesitaran usar una máquina de este tipo, se agregarían todos los requerimientos de máquinas y se redondearía al número entero siguiente. En el ejemplo anterior se comprarían tres máquinas. (Nunca se debe redondear hacia abajo, pues, se formaría un cuello de botella en la planta.) Esta información es crítica para el diseño de la instalación.

2. ¿Cuántas personas se deben contratar?

Vea la gráfica de las operaciones de la figura 3-3. En ella se enlistan los estándares de tiempo para cada operación requerida para fabricar cada parte del producto, y cada operación de ensamble necesaria para montar y empacar el producto terminado.



En esta operación (fundir el asa), el *05* indica el número de operación. Por lo general, 05 es la primera operación de cada parte. El *500* es el estándar de las piezas por hora. Este trabajador debe producir 500 piezas por hora. El *2.0* son las horas que se requieren para producir 1,000 piezas. Con 500 piezas por hora, tomaría dos horas fabricar 1,000 piezas. ¿Cuántas personas se requerirían para fundir 2,000 asas por turno?

$$\begin{array}{r} 2{,}000 \text{ unidades} \\ \times\, 2.0 \text{ horas por } 1{,}000 \\ \hline 4.0 \text{ horas estándar} \end{array}$$

No muchas personas, departamentos o plantas trabajan con rendimiento del 100 por ciento. ¿Cuántas horas se requeriría si trabajaran a tasas de 60, 85 o 120 por ciento?

$$\frac{4 \text{ horas}}{60 \text{ por ciento}} = 6.66 \text{ horas} = \frac{4 \text{ horas}}{85 \text{ por ciento}} = 4.7 \text{ horas} \quad \frac{4 \text{ horas}}{120 \text{ por ciento}} = 3.33 \text{ horas}$$

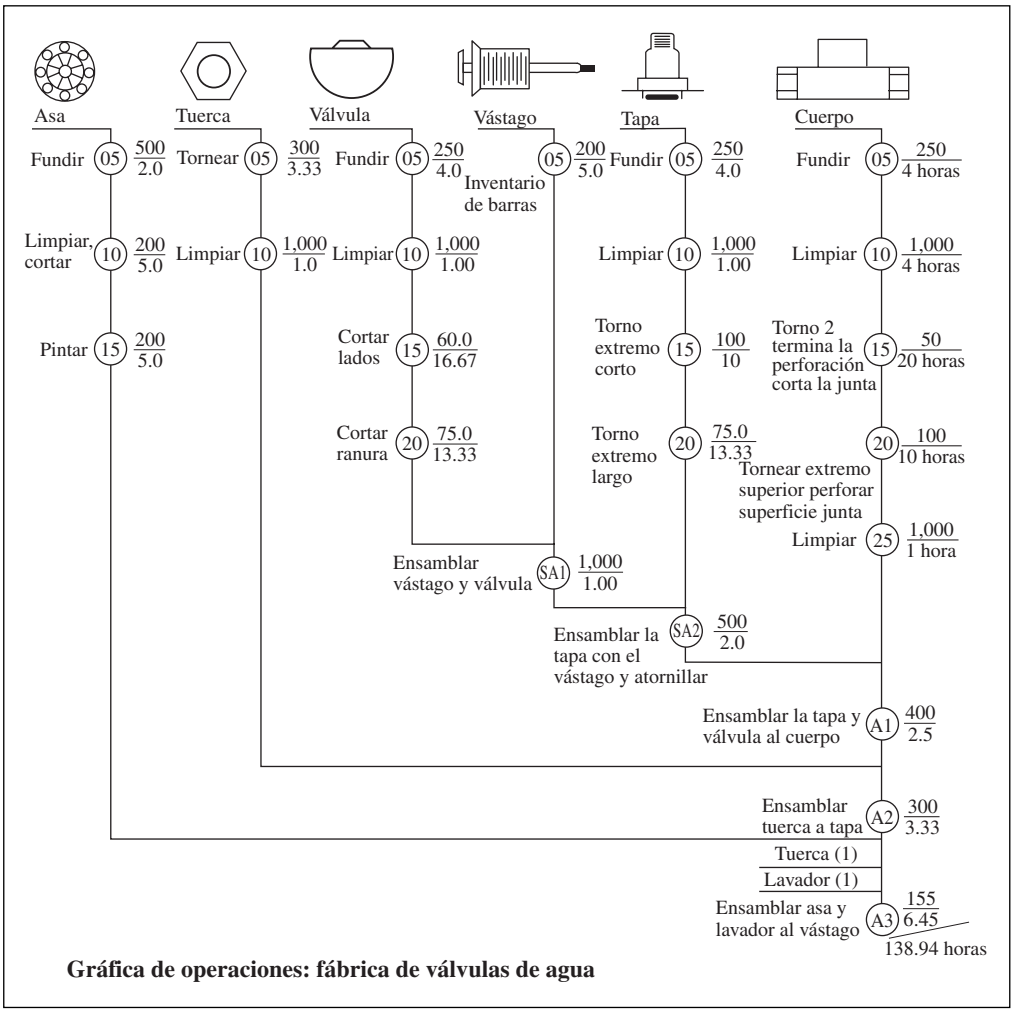


Figura 3-3 Gráfica de las operaciones de una fábrica de válvulas de agua: un círculo denota cada operación de fabricación, ensamblado y empaque.

Por tanto, en función del rendimiento previsto, se hará el presupuesto de un número específico de horas. Se usará ya sea el rendimiento histórico o sus promedios nacionales para factorizar el 100 por ciento de horas, a fin de hacerlo realista y práctico.

Vea de nuevo la gráfica de operaciones que se muestra en la figura 3-3. Observe el número total de horas (138.94) en la parte inferior derecha. La gráfica de operaciones incluye toda operación requerida para fabricar, pintar, inspeccionar, ensamblar y empacar un producto. El total de horas es el tiempo total que se requiere para hacer 1,000 productos terminados. En la fábrica de válvulas de agua, los empleados deben trabajar 138.94 horas al 100 por ciento para producir 1,000 válvulas de agua. Si se tratara de un producto nuevo, po-

dría esperarse un desempeño del 75 por ciento durante el primer año de operación. Por tanto,

$$\frac{\text{138.94 horas por 1,000}}{\text{desempeño al 75 por ciento}} = \text{185 horas por 1,000}$$

donde 75 por ciento = .75.

El departamento de marketing pronosticó ventas de 2,500 válvulas de agua por día. ¿Cuántas personas se necesitan para fabricarlas?

$$\text{185 horas por 1,000} \times 2.5\ (1{,}000) = \text{463 horas requeridas por día}$$

Al dividir este resultado entre ocho horas por empleado por día, resultan 58 personas.

Se evaluará a la administración según lo bien que alcance esta meta. Si se produjeran menos de 2,500 unidades por día con las 58 personas, la administración estaría por arriba del presupuesto, y esto sería imperdonable. Si produjeran más de 2,500 unidades por día, se juzgaría que la administración dirige bien y los gerentes son candidatos a un ascenso.

La mayor parte de compañías producen más de un producto. El problema de cuánta gente contratar para producir cada artículo es el mismo. Por ejemplo, ¿cuántos empleados de mano de obra directa se necesitarían para una planta de productos múltiples?

Producto	*Horas por 1,000*	*Núm. de unidades requeridas por día*	*Horas al 100%*	*% real*	*Horas reales requeridas*
A	150	1,000	150.0	70	214
B	95	1,500	142.5	85	168
C	450	2,000	900.0	120	750
					Total 1,132 horas

Se necesitan 1,132 horas por día de mano de obra directa. Cada empleado trabajará ocho horas; por tanto,

$$\frac{\text{1,132 horas}}{\text{8 horas por empleado}} = \text{141.5 empleados}$$

Es decir, se presupuestará para 142 empleados. Sin estándares de tiempo, cualquier otro método de cálculo de las necesidades de mano de obra sería una adivinanza. La administración no quiere ser evaluada ni comparada con estándares de tiempo o metas de producción inalcanzables.

3. ¿Cuánto costará el producto?

En el punto más temprano del proyecto de desarrollo de un producto nuevo debe determinarse el costo que se prevé que tendrá. Un estudio de factibilidad mostrará a la alta dirección la rentabilidad de un negocio nuevo. Sin costos apropiados y precisos, los cálculos de la rentabilidad serían un acertijo.

Los costos del producto podrían incluir lo siguiente:

		% común
Costos de manufactura 50%	Mano de obra directa	8
	Materiales directos	25
	Costos indirectos	17
	Más	
Costos indirectos	Costos de ventas y distribución	15
	Publicidad	5
	Indirectos de administración	20
	Ingeniería, 50%	3
	Utilidad	7
		100%

El costo de la mano de obra directa es el componente más difícil de estimar del costo del producto. Los estándares de tiempo deben establecerse antes de la compra de cualquier equipo o de la disponibilidad de material. Los estándares de tiempo se definen con el uso de otros tiempos predeterminados o datos estándar de especificaciones y esquemas de estaciones de manufactura, y se compilan en una gráfica como la que se aprecia en la figura 3-3. El lado inferior derecho de la gráfica de operaciones de la válvula de agua indica que para producir 1,000 unidades se requieren 138.94 horas.

$$\frac{\text{138.94 horas por 1,000 unidades}}{\text{85 por ciento de rendimiento previsto}} = \text{163.46 horas por 1,000}$$

$$\begin{array}{r} \$163.46 \text{ horas por 1,000 válvulas de agua} \\ \times \$7.50 \text{ por tasa de mano de obra} \\ \hline \$1{,}225.94 \text{ por 1,000 o 1.23 cada una} \end{array}$$

El material directo es aquel que forma al producto terminado y se calcula llamando a los proveedores para que hagan propuestas de precios. Normalmente, el costo del material directo constituye el 50 por ciento del costo de manufactura (mano de obra directa + materiales directos + indirectos de fábrica). Para este ejemplo, se usará el 50 por ciento. En la gráfica de operación, en el encabezado de cada renglón se introducen las materias primas. Las partes adquiridas afuera se introducen en el ensamblado y en la estación de empaque.

Los costos indirectos de manufactura son todos los gastos de operar una fábrica, excepto los costos directos de la mano de obra y del material, que ya se estudiaron. Este porcentaje se calcula con el uso de los costos reales del último año. Todos los costos de manufactura del último año se dividen en tres grupos:

Mano de obra directa	$1,000,000
Material directo	$3,000,000
Indirectos	$2,000,000
Costos totales de fábrica	$6,000,000

La tasa de indirectos de fábrica del último año es:

$$\frac{\$2{,}000{,}000 \text{ de costo indirecto}}{\$1{,}000{,}000 \text{ de costos de mano de obra directa}} = \begin{array}{c}200 \text{ por ciento de tasa de indirectos} \\ \text{por dólar de mano de obra}\end{array}$$

Así, cada dólar del costo de la mano de obra directa tiene un costo indirecto de fábrica de $2.00.

Ejemplo:

	Mano de obra	$1.23	de los estándares de tiempo
	Indirectos	$2.46	tasa indirecta de 200 por ciento
	Material	$3.69	de los proveedores
Costo total de fábrica		$7.28	
Todos los demás costos		$7.38	de la razón
Precio de venta		$14.76	

4. ¿Cuándo se debe comenzar un trabajo, y cuánto trabajo se puede realizar con el equipo y el personal con que se cuenta? O, de otro modo, ¿cómo programar y asignar tareas a las máquinas, centros de manufactura, departamentos y plantas?

Aun la planta de manufactura más sencilla debe saber cuándo comenzar una operación para que las partes estén disponibles en la línea de ensamble. Entre más operaciones haya, más complicada es la programación.

Ejemplo: una planta de maquinado opera al 90 por ciento.

Trabajo retrasado	*Horas por 1,000*	*Unidades requiridas*	*Horas requeridas*	*Retraso (horas acumuladas)*	*Retraso (días)*
A	5	5,000	27.8	27.8	1.74
B	2	10,000	22.2	50.0	3.12
C	4	25,000	111.1	161.1	10.07
D	3	40,000	133.3	294.4	18.40

La gráfica de la figura 3-4 muestra la misma información que los datos precedentes. Esta planta opera una sola máquina 16 horas diarias, cinco días a la semana. Hay 294.4 horas de retraso, 16 horas por día, lo que es igual a 18.4 días de trabajo de rezago. ¿Qué pasaría si llegara un cliente con un trabajo que quisiera para dentro de 10 días? Se estima que el trabajo sólo tomaría 48 horas de tiempo de máquina. ¿Se cumplirá? ¿Qué pasaría con los otros cuatro trabajos? ¿Para cuándo prometió terminarlos?

Una filosofía de programación es que los departamentos de operación se comparan con cubetas de tiempo. El tamaño de la cubeta es el número de horas que cada departamento es capaz de producir en un día de 24 horas. La tabla siguiente ilustra este concepto:

Departamento	*Núm. de máquinas*	*Horas por día (dos turnos disponibles)*	*Rendimiento histórico del departamento, %*	*Capacidad en horas*
Cortadoras	2	32	85	27.2
Prensas	6	96	90	86.4
Prensas de golpe	4	64	80	51.2
Soldadura	4	64	75	48.0
Pintura	3	48	95	45.6
Línea de ensamble	1	80	90	72.0

El programador puede agregar trabajo a cualquier departamento, en un día específico, hasta que se alcancen las horas de capacidad; después serán distribuidas al día siguiente.

Sin estándares de tiempo adecuados, la administración de la manufactura tendría que mantener grandes cantidades de inventario para evitar escasez de partes. En la manufactura, el inventario implica un costo enorme; por tanto, el conocimiento de los estándares de tiempo reducirá los requerimientos de inventario, lo que reducirá el costo. El control del inventario de producción es un área de la mayor importancia en la administración industrial y de manufactura, y un prerrequisito para ello son los estándares de tiempo.

5. ¿Cómo se determina el balanceo de la línea de ensamble y la velocidad del transportador, se cargan las celdas de manufactura con la cantidad correcta de trabajo, y están balanceadas las celdas de manufactura?

El objetivo del balanceo de la línea de ensamble es dar a cada trabajador una cantidad de trabajo tan parecida como sea posible. El balance de las celdas de manufactura tiene el mismo objetivo. No tiene sentido que una persona o una celda tenga la capacidad de rebasar al resto de la planta en un 25 por ciento, pues otro trabajador no podrá producir más de la cantidad que se le ha asignado o más de lo que las operaciones posteriores puedan utilizar. Si la persona tiene tiempo adicional, podría recibir algo de trabajo de una estación más ocupada.

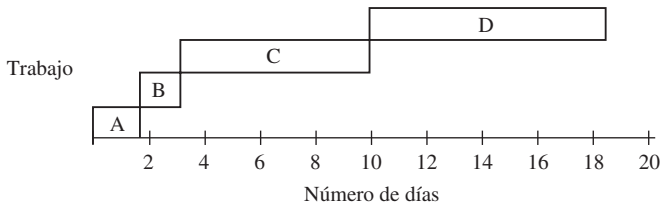


Figura 3-4 Ilustración de la programación del tiempo de trabajo de una máquina o departamento.

Hacer el balanceo de la línea de ensamble o asignar trabajos al centro de manufactura sólo se logra mediante el desglose del trabajo en las tareas que necesiten realizarse y reuniéndolas en labores o celdas con un periodo de tiempo lo más parecido posible. Siempre habrá una estación de manufactura o celda que tenga más trabajo que las demás. Dicha estación se define como 100 por ciento cargada, o estación del cuello de botella, y limitará la producción de salida de toda la planta. Para mejorar la línea de ensamble (reducir el costo unitario), hay que concentrarse en mejorar la estación del 100 por ciento. Si ésta se reduce, como en el ejemplo siguiente, en uno por ciento, se ahorra uno por ciento adicional para cada persona en la línea, debido a que ahora todos pueden ir uno por ciento más rápido. Se seguirá reduciendo la estación del 100 por ciento, hasta que sea otra la que se convierta en la estación del 100 por ciento (estación más ocupada). Después, se centra la atención en esta nueva estación 100 por ciento cargada para reducir el costo. Si se tiene a 200 personas en la línea de ensamble y sólo una estación del 100 por ciento, se ahorraría el equivalente a dos trabajadores si a esta estación se le reduce sólo el uno por ciento. Es posible usar este multiplicador para ayudar a justificar la inversión de grandes sumas de dinero que tienen por objeto efectuar cambios pequeños (el balanceo de la línea de ensamble se estudia con detalle en el capítulo 4).

6. ¿Cómo se mide la productividad?

La *productividad* es una medida de la salida (los resultados) dividida entre la entrada (los recursos). Si se habla de la productividad laboral, entonces se está definiendo un número de unidades de producción por hora trabajada.

Ejemplo:

$$\text{Actual} = \frac{\text{salida} = 1{,}000 \text{ unidades por día}}{\text{entrada} = 50 \text{ personas @ } 8 \text{ horas por día}} = \frac{1{,}000}{400} = 2.5 \text{ unidades por hora de trabajo}$$

$$\text{Mejorada} = \frac{\text{salida} = 2{,}000 \text{ unidades por día}}{\text{entrada} = 50 \text{ personas @ } 8 \text{ horas por día}} = \frac{2{,}000}{400} = 5.0 \text{ unidades por hora de trabajo}$$

o un incremento del 100 por ciento de la productividad (duplicación de ésta).

También podría aumentarse la productividad si se mantiene constante la salida (la producción) y se reduce el número de personas.

$$\text{Salida mejorada} = \frac{1{,}000 \text{ unidades por día}}{40 \text{ personas @ } 8 \text{ horas por día}} = \frac{1{,}000}{320} = 3.125 \text{ unidades por hora de trabajo}$$

Estos ejemplos son apropiados para plantas o industrias completas, pero para individuos hay que usar la fórmula siguiente:

$$\frac{\text{Horas remuneradas}}{\text{Horas reales}} = \text{por ciento de rendimiento}$$

Las *horas remuneradas* son las que se pagan al operador con base en la manufactura estándar y el número de piezas que produce. Por ejemplo, si un trabajador laboró ocho horas y produjo 1,000 unidades, en un trabajo con tiempo estándar de 100 piezas por hora, se tendría lo siguiente:

$$\text{A. Horas remuneradas} = \frac{1{,}000 \text{ piezas producidas}}{100 \text{ piezas por hora}} = 10 \text{ horas}$$

B. Horas reales = 8 horas
Las horas reales son el tiempo real que el operador pasa en el trabajo (también son llamadas *horas reloj*).

C. Por ciento de rendimiento = $\frac{\text{horas remuneradas}}{\text{horas reales}} = \frac{10}{8} = 125$ por ciento

Los ingenieros industriales mejorarán la productividad si reportan los rendimientos de cada operación, operador, supervisor y gerente de producción, en forma diaria, semanal, mensual y anual. Los reportes de rendimiento se basan en tarjetas de tiempo diarias llenadas por los operadores y que se complementan con un sistema de cómputo para control del rendimiento. A fin de contar con un sistema funcional de control del rendimiento deben cumplirse todas las cinco funciones siguientes:

1. Establecer metas (estándares de tiempo).
2. Comparar los rendimientos reales con las metas.
3. Dar seguimiento a los resultados (graficar).
4. Reportar las variaciones que van más allá de los límites aceptables.
5. Adoptar acciones correctivas con el fin de eliminar las causas de los rendimientos deficientes.

Un sistema de control del rendimiento podrá mejorarlo, en promedio, un 42 por ciento por arriba de aquél para el que no existe sistema de control. Es común que las compañías con sistemas para controlar el rendimiento tengan, en promedio, 85% de éste. Esto se logra a través de **1.** identificar el tiempo no productivo y eliminarlo, **2.** detectar el equipo con mantenimiento deficiente y repararlo, **3.** encontrar las causas de los tiempos ociosos y eliminarlas, y **4.** planear con mucha anticipación el trabajo siguiente.

Los sistemas de control del rendimiento sacan los problemas "a la luz", y los planeadores de instalaciones los corrigen. En las plantas que no tienen estándares, los empleados saben que nadie se ocupa de la cantidad que producen. Las reacciones de la administración ante los problemas dicen más que sus palabras. ¿Cómo sabrían los supervisores quién está produciendo y quién no, si no cuentan con estándares? ¿Cómo podría conocer la administración la magnitud de problemas como el tiempo ocioso debido a la falta de mantenimiento, de material, de capacitación, de herramientas, de servicios, etcétera, si no se reporta el tiempo en que no se hace nada?

7. ¿Cómo se pagaría al personal por su excepcional rendimiento?

Todo gerente de manufactura quisiera poder premiar a los empleados excepcionales. Todo supervisor sabe con quién contar para hacer el trabajo. No obstante, sólo el 25 por ciento de los empleados de producción tienen la oportunidad de tener un pago superior por el aumento de su producción.

Un estudio efectuado en 400 plantas por el consultor en ingeniería industrial Mitchell Fein descubrió que cuando se paga a los empleados mediante sistemas de incentivos, su rendimiento mejora en 41 por ciento, en comparación con los planes de trabajo fijos, y 65 por ciento cuando no existen estándares o un sistema de control del rendimiento.

Escenario I. Las plantas sin estándares operan con un rendimiento de 60 por ciento.

Escenario II. Donde hay estándares y sistemas de control del rendimiento, éste es de 85 por ciento.

Escenario III. El rendimiento es del 120 por ciento en aquellas plantas en las que existen sistemas de incentivos.

Una compañía pequeña con 100 empleados, pudo ahorrar cerca de $820,000 por año (salario anual de $20,000, multiplicado por 41 empleados) en costos de mano de obra, al evolucionar de la carencia de estándares a un sistema de control del rendimiento.

Otro estudio de la National Science Foundation demostró que cuando el pago de los trabajadores se encontraba ligado a sus esfuerzos, la productividad mejoraba, los costos se reducían, el pago de los empleados se incrementaba y la moral de los trabajadores mejoraba.

8. ¿Cómo se selecciona el mejor método o se evalúan las ideas para reducir costos?

Una regla básica de la administración de la producción es que, "todos los gastos deben justificar su costo". Una regla fundamental de la vida es que "todo cambia". Los planeadores deben seguir mejorando o volverse obsoletos. Para justificar todos los gastos deben calcularse los ahorros. Como se dijo antes, esto se denomina rendimiento. También se calcula el costo de efectuar el cambio, lo que se llama inversión. Cuando el rendimiento se divide entre la inversión, el resultado indica qué tan deseable es el proyecto. Dicha razón se denomina ROI, o rendimiento sobre la inversión. A fin de tener un método para evaluar el ROI, se utilizan los ahorros anuales; entonces, todos los porcentajes se refieren a un año.

Ejemplo:

Durante varios años usted ha estado produciendo el artículo A, y anticipa varios años más de ventas de 500,000 unidades por cada periodo anual, o 2,000 unidades diarias. El método presente requiere un tiempo estándar de 2.0 minutos por unidad o 30 piezas por hora. Con dicha tasa, toma 33.33 horas hacer 1,000 unidades. Toda la producción se hará en el turno diurno.

A. *Método y costos actuales.* Con una tarifa para la mano de obra de $10.00 por hora, el costo de ésta será de $333.30 para producir 1,000 unidades. El costo de 500,000 unidades por año sería de $166,665.00 en mano de obra directa.

$$\frac{\text{1,000 piezas}}{\text{30 piezas por hora}} = \text{33.33 horas para 1,000 unidades}$$

B. *Método nuevo y costos.* Se tiene una idea para reducir los costos. Si se compra en $1,000 un aditamento nuevo para una máquina, el nuevo estándar de tiempo disminuiría a 1.5 minutos por unidad. ¿Ésta sería una buena inversión?

En primer lugar, ¿cuántos aditamentos tendrían que comprarse para producir 500,000 unidades por año?

$$\frac{\text{500,000 unidades por año}}{\text{250 días por año}} = \text{2,000 unidades por día}$$

480	minutos por turno
–50	minutos de tiempo ocioso por turno
430	minutos por turno al 100 por ciento
@80%	de eficiencia esperada
344	minutos efectivos disponibles para producir 2,000 unidades por turno.

$$\frac{344 \text{ minutos}}{2{,}000 \text{ unidades}} = .172 \text{ minutos por unidad}$$

Para producir 2,000 unidades por turno se requiere una parte cada .172 minutos.

$$\text{Número de máquinas} = \frac{1.50 \text{ minutos por ciclo}}{.172 \text{ minutos por unidad}} = 8.7 \text{ máquinas}$$

Pueden comprarse nueve aditamentos a $1,000 cada uno. La inversión será de $9,000 (nueve multiplicado por 1,000).

En segundo lugar, ¿cuál es el costo de la mano de obra?

$$\text{Piezas por hora} = \frac{60 \text{ minutos por hora}}{1.5 \text{ minutos por parte}} = 40 \text{ partes por hora o 25 horas por 1,000}$$

$$25 \text{ horas por } 1{,}000 \times \$10.00 \text{ por salario de una hora} = \$250 \text{ por } 1{,}000$$

$$500{,}000 \text{ unidades costarán } 500 \times \$250 = \$125{,}000$$

Los costos nuevos de la mano de obra serán de $125,000 por año.

C. *Ahorros.* Dólares directos de mano de obra.
Método anterior: $166,665 por año
Método nuevo: $125,000 por año
Ahorros: $41,665 por año

$$\frac{\text{Rendimiento (ahorros) } \$41{,}665 \text{ por año}}{\text{Inversión (costo) } \$9{,}000} = 463 \text{ por ciento}$$

$$\text{ROI} = 463 \text{ por ciento}$$

$$463 \text{ por ciento} = .216 \text{ años o } 2.59 \text{ meses de pago}$$

D. *Rendimiento sobre la inversión.* Esta inversión se pagará a sí misma en menos de tres meses. Si usted fuera el gerente, ¿la aprobaría? Por supuesto que sí, como lo haría cualquiera.

Los programas de reducción de costo son importantes para el bienestar de la compañía y la tranquilidad del departamento de ingeniería industrial. Un departamento que muestre ahorros de $100,000 por empleado al año, no tiene que preocuparse por los despidos o la eliminación. Un programa de reducción de costos bien documentado actualizará los estándares siempre y tan pronto como los métodos cambien. Todo estándar que resulte afectado deberá cambiarse de inmediato.

Quizá los cálculos para reducir costos sean un poco más complicados que los del ejemplo anterior, en el que no se tomó en cuenta lo siguiente:

1. Impuestos.
2. Depreciación.
3. Valor del dinero en el tiempo.
4. Maquinaria excedente-cambio.
5. Valor de rescate.

9. ¿Cómo se evalúan las compras de equipo nuevo para justificar la inversión?

La respuesta a esta pregunta es la misma que la de la pregunta número ocho. Toda máquina nueva es una reducción de costo. Ninguna otra razón es aceptable.

10. ¿Cómo se desarrolla un presupuesto de personal?

Esta pregunta quedó respondida en la pregunta número dos, al determinar el número de personas por contratar. La planeación del presupuesto es una de las herramientas más importantes de la administración, y el administrador debe comprenderla por completo para dirigir con eficacia. Se dice que se es administrador cuando se es responsable de un presupuesto, y que se es un administrador que merece un ascenso si al final del año permanece por debajo del presupuesto. Presupuestar es parte del proceso de estimación de costos. La mano de obra sólo es una parte del presupuesto, pero es una de las más difíciles de estimar y controlar. Sin estándares de tiempo sería una adivinanza demasiado costosa.

¿Cómo podrían los administradores tomar decisiones tan importantes como las que se estudian en este capítulo? Gran parte de quienes administran la manufactura no han recibido capacitación formal para tomarlas. Es trabajo de usted mostrar a la dirección la manera científica de administrar sus operaciones.

TÉCNICAS DEL ESTUDIO DE TIEMPOS

Esta sección presenta un panorama de las técnicas del estudio de tiempos. Si se desea establecer estándares de tiempo o aplicar cualesquiera de estas técnicas, se requiere un estudio más profundo. El estudio de tiempos (establecer estándares de tiempo) cubre una amplia variedad de situaciones. Antes de que se construya la planta deben ocurrir al mismo tiempo varias cosas: diseñar el trabajo, construir máquinas y estaciones, y establecer un estándar de tiempo. En esta situación, las técnicas que se utilizan para establecer el estándar de tiempo serán un PTSS o métodos de medición de tiempo (MTM). Una vez que la máquina o estación de manufactura se ha operado durante cierto tiempo, se usa la técnica del cronómetro. Algunos trabajos tienen lugar una o dos veces a la semana, mientras que otros se repiten miles de veces al día. Algunos más son muy rápidos y otros toman horas. ¿Qué técnica usar? El trabajo del ingeniero industrial y del tecnólogo es emplear la técnica que sea correcta para cada situación y aplicarla en forma apropiada.

El diseño de instalaciones nuevas requiere que se establezca el método de trabajo y el estándar de tiempo antes de que comience la labor. Esto requiere el uso del PTSS, o datos estándares. Una vez comenzada la producción, podría revisarse el trabajo con la técnica del cronómetro para estudiar los tiempos. Los proyectos de ajuste retroactivo utilizan el estudio de tiempos para medir el de los métodos existentes, pero los métodos o equipos nuevos requerirán la estimación del estándar de tiempo por medio del PTSS o datos estándares. En este libro se estudiarán cinco técnicas para desarrollar estándares de tiempo, que son las siguientes:

1. Sistemas de estándares de tiempo predeterminados.
2. Estudio de tiempos con cronómetro.
3. Muestreo del trabajo.
4. Datos estándares.
5. Estándares según la opinión de expertos y datos históricos.

En este capítulo se presenta una breve descripción de estas cinco técnicas. Cada una de ellas se desarrollará por completo en su propio capítulo.

Sistemas de estándares predeterminados de tiempo (PTSS)

Cuando se necesita un estándar de tiempo durante la fase de planeación del programa de desarrollo de un producto nuevo se usa la técnica de PTSS (vea la figura 3-5). En esta etapa del desarrollo del producto nuevo sólo se dispone de información muy general, y el tecnólogo debe visualizar lo que se necesita en cuanto a herramientas, equipo y métodos de trabajo. El tecnólogo debe diseñar una estación de manufactura para cada etapa del plan de trabajo del producto nuevo, desarrollar un patrón de movimiento, medir cada uno de ellos y asignarles un valor en tiempo. El total de estos valores de tiempo sería el tiempo estándar. Este estándar se usaría para determinar las necesidades de equipo, espacio y personal del producto nuevo, así como su precio de venta.

Frank y Lillian Gilbreth desarrollaron la filosofía básica de los sistemas de estándares de tiempo predeterminados. Dividieron el trabajo en 17 elementos:

1. Transporte vacío.
2. Búsqueda.
3. Selección.
4. Tomar.
5. Transporte cargado.
6. Preposición.
7. Posición.
8. Ensamble.
9. Desensamble.
10. Soltar carga.
11. Uso.
12. Retención.
13. Inspección.
14. Retraso evitable.
15. Retraso inevitable.
16. Plan.
17. Descanso para reponerse de la fatiga.

Estudio de tiempos con cronómetro

El *estudio de tiempos con cronómetro* (vea la figura 3-6) es el método en el que piensa la mayoría de los empleados de manufactura cuando hablan sobre estándares de tiempo. Fredrich W. Taylor comenzó a usar el cronómetro alrededor de 1880 para estudiar el trabajo. Debido a su extensa historia, esta técnica es parte de muchos contratos entre el sindicato y las empresas de manufactura.

Fred Meyers & Associates			**Análisis predeterminado de estándares de tiempo**				
Núm. de operación 25	Núm. de parte 2220		Descripción de la operación:				
Fecha: 1-21-xx	Tiempo:		Ensamblar soportes al cuerpo por medio de cuatro pernos				
Por I.E.: Meyers							
Descripción-Mano izquierda	Frec.	MI	Tiempo	MD	Frec.	Descripción-Mano derecha	Elemento de tiempo
Al cuerpo siguiente		R-30	18	M30		Lado terminado	
Tomar		G2	6	LR		Soltar	
Mover cuerpo a parte		M30	18	R30		Para L.H.	
			2	G2		Sujetar cuerpo en la MI	
Colocar en la parte		AP1	5	AP1		Colocar en la parte	
			49				.049
Obtener y colocar dos pernos en el cuerpo							
		R12	9	R12		Al soporte	
		G2	6				
			4	R2		Al soporte	
Igual que MD			6	G2		Sujetar soporte	
		M12	9	M12		Al cuerpo	
		AP2	10				
			5	AP2 (1/2)		En el cuerpo	
			49				.049
Obtener y ensamblar cuatro pernos: apretar a mano							
		R8	7	R8		Al perno	
		G3	9				
			9	G3		Sujetar perno	
Igual que la MD		M8	7	M8		Al cuerpo	
		AP1	5	AP1		En el cuerpo	
	10	G4	40	G4	10	Girar 10 veces	
		SF	5	SF			
			82		2	3o. y 4o. perno	.164

Tiempo	Estudio	Ciclo
25	1.20	2.11
50	1.42	2.35
74	1.65	
97	1.89	
Total		2.35
Ocurrencias		10
Promedio por ocurrencia		.235
Factor de nivelación		110
Tiempo normal		.258

Costo:

Horas por unidad: .00480

Dólares por hora: $15.00

Dólares por unidad: $.072

Tiempo total normal en minutos por unidad	.262
+ 10% de tolerancia	.026
Tiempo estándar	.288
Horas por unidad	.00480
Piezas por hora	208

Figura 3-5a Ejemplo de PTSS.

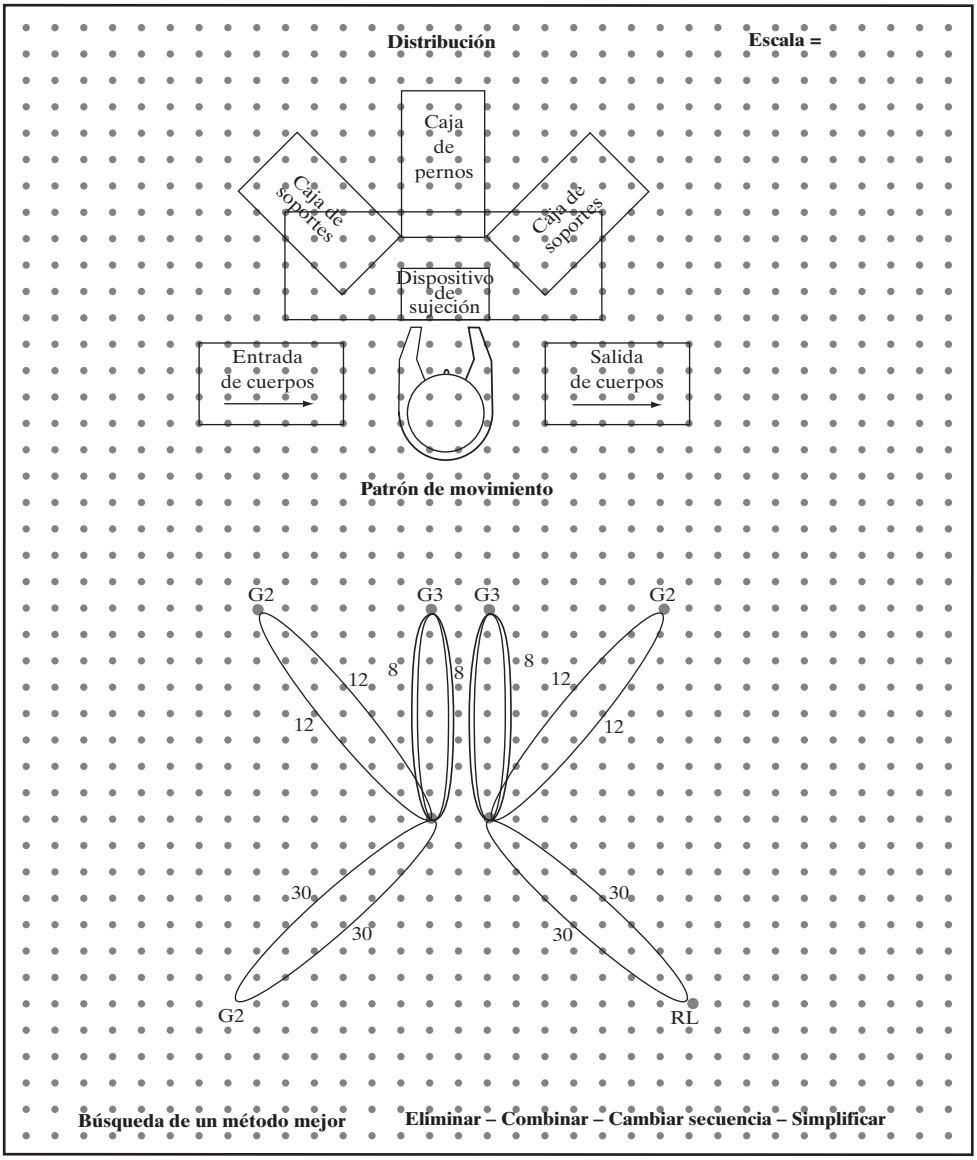


Figura 3-5b Ejemplo de PTSS para el lado B.

Fred Meyers & Associates — **Hoja de trabajo de estudio de tiempos** — ☐ Con retroceso a cero ☒ Continuo

Descripción de la operación: Ensamble de las partes 2 y 4, máquina de atornillar y estaca, inspeccionar

Número de parte: 4650-0950	Número de operación: 1515	Número de dibujo: 4650-0950	Nombre de la máquina: Prensa	Número de la máquina: 21	☒ ¿Buena calidad?
Nombre del operador: Meyers	Meses en el trabajo: 5	Departamento: Ensamblado	Número de herramienta: M61	Alimentaciones y velocidades: Ninguna Ciclo de máquina: 0.030 Tiempo: 8:30 A.M.	☒ ¿Seguridad revisada? ☒ ¿Preparación adecuada? Notas:

Descripción de las partes: Golf Club Sole Assembly — Especificación del material: Woco & Steel

Núm. de elemento	Descripción del elemento		Lecturas 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total / Ciclos	Tiempo promedio	% R	Tiempo normal	Frecuencia	Tiempo Unitario Normal	Rango	R/X	Máximo
1	Ensamblar	R	9	41	71	1.07	38	77	2.08	48	77	3.07	.76 / 9	.084	90	.076	1 / 1	.076	.03		
		E	.09	.09	.09	(15)	.08	.08	.10	.07	.08	.08									
2	Atornillar	R	15	46	79	13	43	82	14	53	82	93	.51 / 9	.057	100	.057	1 / 1	.057	.03	.53	✓
		E	06	05	08	06	05	05	06	05	05	(10)									
3	Prensar	R	28	59	94	27	66	95	28	66	96	4.06	1.22 / 9	.136	110	.150	1 / 1	.150	.02		
		E	13	13	15	14	(23)	13	14	13	14	13									
4	Inspeccionar	R	32	62	92	30	69	98	41	69	99	4.09	.25 / 8	.031	100	.031	1 / 1	.031	.01		
		E	.04	.03	(.02)	.03	.03	.03	(13)	.03	.03	.03									
5	Cargar tornillos	R										3.83	.76 / 1	.76	125	.950	1 / 10	.095	—		
		E										.76									
		R																			
		E					*1		*2			*3									
		R																			
		E																			
		R																			
		E																			

Elementos extraños:
* 1.23 Parte obstruida
* 2.13 Parte que se intentó repetir
* 3.10 Reiniciar desde la carga de tornillos

Ingeniero: Fred Meyers — Fecha: 2/25/xx

Aprobado por: Fred Meyers — Fecha: 2/26/xx

Notas:
La carga de tornillos podría mejorarse para eliminar .095 minutos (ahorrar)

.409	.00750
−.095	.00575
.314	.00175 horas/unidad
+.031	× $10.00 /h
.345	.0175 $/unidad
.00575 h	500.000 h
174 piezas/hora	$8,750

R/X	Núm. de ciclos
.1	2
.2	7
.3	15
.4	27
.5	42
.6	48 61
.7	83
.8	108
.9	138
.10	169

Minutos normales en total	.409
Tolerancia + _____10%	.041
Minutos estándar	.450
Horas por unidad	0 0 7 5 0
Unidades por hora	133

Al reverso
Distribución de la estación de manufactura
Esquema del producto

Figura 3-6 Ejemplo de estudio de tiempos: forma continua.

El *estudio de tiempos* se define como el proceso de determinar el tiempo que requiere un operador hábil y bien capacitado que trabaja a ritmo normal para realizar una tarea específica. Hay disponibles varios tipos de cronómetros:

1. *Con retroceso a cero:* en centésimos de minuto.
2. *Continuo:* en centésimos de minuto.
3. *Tres relojes:* relojes continuos.
4. *Digital:* en milésimos de minuto.
5. *TMU (unidad medida de tiempo):* en cienmilésimas de hora.
6. *Computadora:* en milésimos de minuto.

Todos los relojes excepto el de TMU, se leen en minutos decimales. El de TMU se lee en horas decimales. Los relojes digitales y computadoras son mucho más exactos, y gran parte de ellos tienen funciones de memoria que mejoran la exactitud.

PROCEDIMIENTO DEL ESTUDIO DE TIEMPOS Y SU FORMA PASO A PASO

El procedimiento del estudio de tiempos se ha reducido a 10 pasos y su formato se ha diseñado para auxiliar al tecnólogo que lo realiza a ejecutarlos en la secuencia apropiada (la figura 3-7 muestra un formato en blanco de estudio de tiempos, con números encerrados en círculos). Esta sección está organizada de acuerdo con los 10 pasos secuenciales siguientes:

Paso 1. Seleccionar el trabajo a estudiar.
Paso 2. Recabar información acerca del trabajo.
Paso 3. Dividir el trabajo en elementos.
Paso 4. Hacer el estudio de tiempos reales.
Paso 5. Extender el estudio de tiempos.
Paso 6. Determinar el número de ciclos por cronometrar.
Paso 7. Calificar, nivelar y normalizar el rendimiento del operador.
Paso 8. Aplicar tolerancias.
Paso 9. Verificar la lógica.
Paso 10. Publicar el estándar de tiempo.

Los bloques del formato involucrado en el estudio de tiempos se definen dentro de cada paso. Los números encerrados en círculos se refieren a los bloques en el formato del estudio de tiempos. El formato está diseñado tanto para las técnicas de estudio de tiempos con retroceso como para las continuas. Todo, excepto el bloque 16, es exactamente lo mismo.

Paso 1. Seleccionar el trabajo a estudiar.

Las solicitudes para que se haga un estudio de tiempos podrían venir de cualquier dirección:

1. Los sindicatos podrían cuestionar los estándares de tiempo y pedir que se vuelvan a estudiar.
2. Los supervisores podrían pedirlo, pues son calificados parcialmente con el rendimiento de sus subordinados.
3. El trabajo podría cambiar, lo que requeriría un estándar nuevo.

Fred Meyers & Associates **Hoja de trabajo de estudio de tiempos** ☐ Con retroceso a cero ☐ Continuo

Descripción de la operación: (1)

Número de parte: (2)	Número de operación: (3)	Número de dibujo: (4)	Nombre de la máquina: (5)	Número de la máquina: (6)	☐ ¿Buena calidad?
Nombre del operador: (7)	Meses en el trabajo: (8)	Departamento: (9)	Número de herramienta: (10)	Alimentaciones y velocidades:	☐ ¿Seguridad revisada?
Descripción de las partes: (11)	Especificación del material:			Ciclo de máquina: (12) Tiempo:	☐ ¿Preparación adecuada? Notas: (13)

Núm. de elemento	Descripción del elemento		Lecturas 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total Ciclos	Tiempo promedio	% R	Tiempo normal	Frecuencia	Tiempo Unitario Normal	Rango	R/X	Máximo ✓
		R																			
		E																			
		R																			
		E																			
(14)	(15)	R						(16)					(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)
		E																			
		R																			
		E																			
		R																			
		E																			
		R																			
		E																			
		R																			
		E																			
		R																			
		E																			

Elementos extraños: (27)

Notas:

Ingeniero: (33) Fecha: __/__/__ (34)

Aprobado por: (35) Fecha: __/__/__

R/X	Núm. de ciclos
.1	2
.2	7
.3	15
.4	27
.5	42
.6	61
.7	83
.8	108
.9	138
.10	169

(26)

Minutos normales en total (28)
Tolerancia +__(29)__% (30)
Minutos estándar (31)
Horas por unidad (32)
Unidades por hora

Al reverso
Tolerancia de la estación de manufactura (36)
Esquema del producto (37)

Figura 3-7 Ejemplo de estudio de tiempos: forma paso a paso.

4. Tal vez se agreguen trabajos nuevos a la planta.
5. Al sumarse productos nuevos sería necesario tener nuevos estándares de tiempo.
6. Los tecnólogos industriales mejoran los métodos y esto requiere un estándar nuevo de los tiempos.
7. Los programas de reducción de costos requieren estándares nuevos: nueva maquinaria, herramientas, materiales, métodos, etcétera.

Una vez que se determinó la razón para estudiar un trabajo, el técnico de estudios de tiempos asigna a varias personas para que realicen el mismo trabajo. ¿El tiempo de qué persona se estudia? La mejor respuesta es: el de dos o tres, pero aquellas cuyo tiempo *no* se desea estudiar son las siguientes:

1. *La persona más rápida en el trabajo.* Los demás empleados pensarían que se les requerirá que lo igualen. Aun cuando se hiciera un buen trabajo de establecer el estándar de tiempo de esta persona, no es deseable crear problemas en las relaciones entre los trabajadores.
2. *La persona más lenta en el trabajo.* No importa cómo se califique el trabajo y no importa lo bueno que sea el estándar de tiempo, los empleados se preguntarán cómo se llegó a éste.
3. *Empleados con actitudes negativas que afectarían su rendimiento mientras se estudia.* Si se pueden evitar problemas potenciales, hay que hacerlo.

La persona o personas cuyo tiempo va a estudiarse, deben tener antigüedad suficiente en el trabajo que se calificará, deben ser operadores bien capacitados. Por esta razón, se han incluido los bloques ⑦ y ⑧ en el formato de estudio de tiempos:

⑦ Nombre del operador.
⑧ Meses en el trabajo.

Los empleados deben haber estado en el trabajo al menos durante dos semanas.

Una vez que se ha seleccionado el trabajo por estudiar, se determina la información siguiente:

② Número de parte.
③ Número de operación.
④ Núm. de dibujo.
⑤ Nombre de la máquina: algún nombre genérico tal como *prensa*, *soldadora*, *torno*, *taladro* y otros parecidos.
⑥ Número de la máquina: máquina específica con velocidades y alimentaciones específicas.
⑨ Departamento: lugar donde se localiza la máquina (se designa con un número o un nombre).

Paso 2. Recabar información acerca del trabajo.

Ya que se identificó el trabajo, el tecnólogo debe obtener información con el fin de comprender lo que debe obtenerse. La información que se requiere es la siguiente:

① Descripción de la operación: descripción completa de las necesidades que deben satisfacerse.

④ Número de dibujo: remitirá a un plano que muestre elementos como los siguientes:

a. ⑪ y ㊲ descripción de parte y especificación de materiales (en el reverso del formato de estudio de tiempos se reserva un lugar para el esquema del producto, si fuera necesario).
b. ⑩ números de herramienta y tamaños de implementos, como aditamentos, calibres de barrenos, etcétera.
c. ⑫ alimentaciones y velocidades del equipo; esto depende de los tamaños de las partes y de las especificaciones del material según el plano; deben registrarse.

⑬ Al recibir la estación de manufactura antes de comenzar el estudio de tiempos, el tecnólogo debe verificar lo siguiente:

✔ ¿La calidad es buena? El control de calidad debe confirmar que la del producto en cuestión es alta. ¿El operador verifica las partes con el programa adecuado? Los estándares de tiempo por generar desperdicios no producen beneficios.
✔ ¿Se verificó la seguridad? Si no están en su lugar todos los implementos para la seguridad, entonces, el tecnólogo estaría perdiendo el tiempo al establecer un estándar para el método equivocado.
✔ ¿El arranque se hizo en forma apropiada? Éste es el momento de ver que esté a punto el método apropiado, las herramientas y el equipo. ¿Los materiales y las herramientas están colocados en forma correcta? ¿Hay movimientos o elementos innecesarios que se estén ejecutando?

Si algo está mal, debe corregirse antes de que el estudio de tiempos se lleve a cabo. Si el operador debe volver a capacitarse, el estudio de tiempos tiene que posponerse hasta que la capacitación concluya.

㊱ Una parte de la obtención de información es la distribución de la estación de manufactura. El reverso del formato del estudio de tiempos permite un esquema de ella, pero éste no será necesario si se hizo en algún otro formato (forma de actividades múltiples). La distribución de la estación de manufactura es una de las mejores maneras para describir la operación. En el capítulo 7 se describe lo que debe incluirse en una distribución de estación de manufactura.

Paso 3. Dividir el trabajo en elementos.

Los *elementos* son unidades de trabajo indivisibles. Los elementos del estudio de tiempos deben ser tan pequeños como sea posible, pero no menores de .030 minutos.

Los elementos deben ser lo más descriptivos que sea posible, deben estar en la secuencia que los métodos reclamen y hacerse tan pequeños como sea práctico.

Principios del desglose elemental

1. Es mejor tener demasiados elementos que muy pocos.
2. Los elementos deben ser tan cortos como sea posible, pero no menores de .030 minutos. Los elementos de más de .200 minutos deben examinarse para lograr subdividirlos.

3. El tiempo es más fácil de medir que aquellos elementos que finalizan con un sonido, porque los ojos pueden mirar el reloj mientras que los oídos esperan el sonido.
4. Los elementos constantes deben segregarse de los variables, para que revelen un tiempo más verdadero.
5. Se deben separar los elementos controlados por máquinas de los que controla el operador, de modo que pueda diferenciarse el ritmo de trabajo.
6. Los puntos de separación naturales son mejores. Los puntos iniciales y finales deben ser reconocibles y describirse con facilidad. Si la descripción del elemento no queda clara, debe reconsiderarse la descripción o el desglose.
7. La descripción del elemento involucra el trabajo completo, y los puntos finales quedan marcados con claridad.
8. Los elementos extraños deben enlistarse en el orden en que tienen lugar. No se hace la lista hasta que sucedan durante el estudio.

Las siguientes son las razones para desglosar un trabajo en sus elementos:

1. Hace que el trabajo sea más fácil de describir.
2. Las diferentes partes del trabajo tienen diferentes *tempos*. El técnico del estudio de tiempos será capaz de calificar mejor al operador. Los elementos controlados por máquinas serán constantes y normalmente de 100 por ciento, mientras que el operador sería más o menos eficiente en distintas partes del trabajo.
3. La descomposición en elementos permite trasladar una parte del trabajo de un operador a otro. Esto se denomina *balanceo de la línea de ensamble*.
4. Los datos estándares podían ser más exactos y de aplicación más universal con elementos más pequeños. Todo trabajo está hecho de elementos comunes. Después de cierto número de estudios de tiempos, el tecnólogo desarrollará fórmulas o gráficas para eliminar la necesidad de hacer otros. Obtener datos estándares debe ser la meta de todos los departamentos de estudio de tiempos.

En el formato de estudio de tiempos de las figuras 3-7 y 3-8 se han asignado dos columnas a los elementos:

⑭ Número de elemento: tan sólo es un número consecutivo y es útil cuando se mide el tiempo de más de 10 ciclos. en lugar de describir cada elemento una y otra vez, sólo hay que hacer referencia a su número.
⑮ Descripción del elemento: debe ser lo más completa posible. Los puntos finales deben quedar claros.
㉗ Elementos extraños: estos elementos extraños se eliminarán del estudio, pero usted no desea que se le oculte nada. Por tanto, se requiere una razón para eliminar el tiempo. En este apartado se hace referencia a los elementos extraños marcados con un asterisco (*) en el cuerpo del estudio.

Paso 4. Hacer el estudio de tiempos reales.

Ésta es la esencia del estudio de tiempos con cronómetro. El bloque 16 en el formato paso a paso es para registrar el tiempo de cada elemento. El formato tiene espacio para ocho elementos (ocho renglones) y 10 ciclos (columnas) para 80 lecturas. La mayoría de estudios sólo tendrán tres o cuatro elementos, por lo que hay espacio en una hoja para 20 ciclos. Este formato sirve tanto para un estudio de tiempos con retroceso como para uno continuo.

Fred Meyers & Associates **Hoja de trabajo de estudio de tiempos** ☐ Con retroceso a cero ☐ Continuo

Descripción de la operación: Ensamblado de las partes 2 y 4, tornillo de máquina y estaca, inspeccionar

Número de parte: 4650-0950	Número de operación: 1515	Número de dibujo: 4650-0950	Nombre de la máquina:	Número de la máquina: 21	☐ ¿Buena calidad?
Nombre del operador: Meyers	Meses en el trabajo: 5	Departamento: Ensamblado	Número de herramienta: M61	Alimentaciones y velocidades:	☐ ¿Seguridad revisada?
Descripción de las partes:	Especificación del material:			Ciclo de máquina: Tiempo:	☐ ¿Preparación adecuada? Notas:

Núm. de elemento	Descripción del elemento		Lecturas 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total / Ciclos	Tiempo promedio	% R	Tiempo normal	Frecuencia	Tiempo Unitario Normal	Rango	R/X	Máximo ✓
	Ensamble	R	9	41	71	1.07	38	77	2.08	48	77	3.07			90		1/1				
		E																			
	Atornillar	R	15	46	79	13	43	82	14	53	82	93			100		1/1				✓
		E																			
	Prensar	R	28	58	94	27	66	95	28	66	96	4.06			110		1/1				
		E																			
	Inspeccionar	R	32	62	92	30	69	98	41	69	99	4.09			100		1/1				
		E																			
	Cargar tornillos	R										3.83			125		1/10				
		E																			
		R															1/1				
		E																			
		R															1/1				
		E																			
		R															1/10				
		E																			

Elementos extraños:

Notas:

Ingeniero: Fecha: __/__/__

Aprobado por: Fecha: __/__/__

R/X	Núm. de ciclos
.1	2
.2	7
.3	15
.4	27
.5	42
.6	61
.7	83
.8	108
.9	138
.10	169

Minutos normales en total _____
Tolerancia + _____10% _____
Minutos estándar _____
Horas por unidad ------
Unidades por hora _____

Al reverso
Tolerancia de la estación de manufactura
Esquema del producto

Figura 3-8 Problema de estudio de tiempos: técnica continua.

El estudio de tiempo continuo es la técnica de estudio más deseable. El cronómetro continúa en marcha durante todo el estudio y los tiempos finales del elemento se registran con una *R*, de *lectura*.

Ejemplo continuo

		1	*2*	*3*	*4*	*5*
	R	.16	.83	1.50	2.17	2.83
Cargar y sujetar	E					
	R	.55	1.23	1.90	2.57	3.23
Hacer funcionar la máquina	E					
	R	.66	1.33	2.01	2.67	3.32
Descargar y apartar	E					

Observe que los tiempos son cada vez más largos y que cinco partes se procesaron en un tiempo total de 3.32 minutos. En el paso 5, se calcularon los tiempos elementales, pero en este momento usted se encuentra aún afuera, en la planta, recabando datos.

Los estudios con retroceso permiten que el técnico lea el reloj y lo reinicie de inmediato para el elemento siguiente. A continuación se muestra el mismo estudio con el uso de la técnica con retroceso.

Ejemplo con retroceso a cero

		1	*2*	*3*	*4*	*5*
	R					
Cargar y sujetar	E	.16	.17	.17	.16	.16
	R					
Hacer funcionar la máquina	E	.40	.40	.40	.40	.40
	R					
Descargar y apartar	E	.10	.10	.11	.10	.09

Observe que ya se calculó el tiempo elemental (*E*). Mire el tiempo de cargar y sujetar; los tiempos parecen consistentes: .16, .17, .17, .16 y .16. De inmediato es obvio el tiempo para cargar y sujetar. Esta misma información se encontraría en un estudio de tiempos continuo, pero primero se requeriría mucha aritmética. En la técnica de estudio de tiempos con retroceso, el renglón *R* se utiliza para calificar al operador en cada elemento de trabajo (esto se analiza con más detalle posteriormente, cuando se estudie la calificación, nivelación y normalización).

Paso 5. Extender el estudio de tiempos.

Una vez que se ha hecho el estudio de tiempos, sigue un trabajo aún mayor. El método continuo tiene una etapa más que el de retroceso, por lo que nos centraremos en el primero.

⑯ A cada lectura hay que restarle la anterior. La lectura del elemento previo fue su tiempo de terminación y el comienzo del elemento presente.
Al restar el tiempo de inicio del tiempo de terminación, se obtiene el tiempo elemental.

⑰ Total/ciclos: el total se refiere al tiempo total de los ciclos apropiados cuyo tiempo se midió. Algunos ciclos pueden eliminarse porque incluyen algo que no refleja el tiempo elemental.

Los elementos extraños se eliminan de toda consideración. Los ciclos son el número de los tiempos elementales aplicables incluidos en el tiempo total.

⑱ Tiempo promedio: el tiempo promedio es el resultado de dividir el tiempo total entre el número de ciclos. En promedio, el ejemplo anterior tomó .40 minutos de tiempo de máquina.

⑲ Porcentaje *R:* la calificación porcentual se refiere a la opinión del analista de qué tan rápido se desempeñó el operador. La calificación dividida entre 100, multiplicada por el tiempo promedio, es igual al tiempo normal.

$$\text{Tiempo promedio} \times \frac{\text{calificación porcentual}}{100} = \text{tiempo normal}$$

En una sección posterior de este capítulo se estudia con detalle la calificación.

⑳ Tiempo normal: como ya se dijo, el *tiempo normal* se define como la cantidad de tiempo que tomaría producir una parte a un operador normal que trabaja a un ritmo confortable. El tiempo normal se calculó antes y se explica aún más en el bloque ㉒.

㉑ Frecuencia: la frecuencia indica qué tan seguido se ejecuta una tarea. Por ejemplo, mover 1,000 partes fuera de la estación de manufactura, mover el contenedor vacío hacia otro lado de ella y traer otro lleno con 1,000 partes nuevas, sucederá sólo una vez en cada 1,000 ciclos (1 por 1,000). Si el control de calidad solicitara al operador que inspeccionara una parte de cada 10, en esta columna se escribiría *1/10*. El mayor uso de esta columna se da cuando el operador está produciendo dos partes a la vez; entonces, en la columna se escribe *1/2*. Si correspondiera *1/1*, la columna podría dejarse en blanco.

㉒ Tiempo unitario normal: el tiempo unitario normal se calcula con la multiplicación de la frecuencia por el tiempo normal.

Ejemplos:

Tiempo normal		*Frecuencia*		*Tiempo unitario normal*
1.160	×	1/1,000	=	.001 minuto
.400	×	1/10	=	.040 minuto
.100	×	1/2	=	.050 minuto
.050	×	1/1	=	.050 minuto

Cada elemento debe reflejar el tiempo para producir una unidad de producción. Nadie quiere un estándar para los pares, y mezclar la frecuencia de las unidades conduce a estándares de tiempo inadecuados. Debe tenerse cuidado con esto.

Paso 6. Determinar el número de ciclos por cronometrar.

La exactitud del tiempo de estudio depende del número de ciclos por cronometrar. Entre más ciclos se analicen, más exacto será el estudio. Casi todo el trabajo del estudio de tiempos persigue una exactitud de ± 5 por ciento, con un nivel de confianza del 95 por ciento, de modo que la pregunta es: ¿Cuántos ciclos deben estudiarse para alcanzar dicha exactitud? Los bloques ㉓ y ㉖ ayudarán a determinar el número de ciclos necesarios.

Un estudio más detallado del aspecto estadístico del tema y el enfoque matemático para determinar el número de ciclos no está dentro del alcance de este libro. Como regla práctica, de 20 a 25 observaciones deben proporcionar exactitud suficiente para nuestros propósitos.

Paso 7. Calificar, nivelar y normalizar el rendimiento del operador.

⑲ La calificación porcentual es la opinión del tecnólogo del rendimiento del operador. Calificar, nivelar y normalizar significan lo mismo, y de aquí en adelante se empleará el término *calificar*, que es el aspecto más exigente de todos los del estudio de tiempos; por esta razón, es el tema más importante de este capítulo (en una sección posterior se estudia con detalle).

$$\text{Tiempo promedio} \times \frac{\text{calificación}}{100} = \text{tiempo normal}$$

⑱ → ⑲ → ⑳

Paso 8. Aplicar tolerancias ㉙.

Las tolerancias se introducen en un estudio de tiempos para que el estándar de tiempo sea práctico.

$$\text{Tiempo normal total} + \text{tolerancias} = \text{tiempo estándar}$$

㉘ ㉙ ㉚

Existen varios métodos para aplicar las tolerancias, y hay varios tipos de ellas. Más adelante, en este capítulo, se estudian las tolerancias con todo detalle.

Paso 9. Verificar la lógica.

Una vez que el estudio de tiempos ha avanzado, debe aplicarse una prueba de lógica en dos formas:

1. El tiempo promedio ⑱ debe parecerse a los tiempos elementales. Si se cometió un error al sumar, la prueba de lógica lo detectará. Es muy fácil cometer errores con cifras decimales. Hay que tener cuidado de no cometerlos porque se vean mal (1,000 por ciento de errores resultan de desplazar el punto un solo lugar), por lo cual es tan importante mantener la consistencia con la colocación de los decimales.
   a. Leer los cronómetros con dos decimales: .01.
   b. Del tiempo promedio en adelante, usar tres decimales: .001.
   c. Usar cinco decimales para las horas por unidad: .00001.

2. La segunda prueba de lógica es el tiempo normal total para una unidad. Durante el estudio, se cronometró un número específico de partes en cierta cantidad de tiempo. Por ejemplo, se midieron 10 ciclos en 7.5 minutos (7.5 fue la última lectura en la décima columna). Cada tiempo promedio debe rondar los .75 minutos. ¿Está usted cerca del tiempo normal total? Si no es así, existe un error grande. *Precaución:* no olvide que si el operador trabaja con dos artículos, se están produciendo dos partes cada vez.

Paso 10. Publicar el estándar de tiempo.

Se requieren tres números para comunicar un estándar de tiempo:

1. Minutos decimales ㉚.
2. Horas por unidad ㉛.
3. Piezas por hora ㉜.

Si se comienza con minutos estándar, la división de ㉚ entre 60 minutos por hora es igual a las horas por unidad ㉛, y las piezas por hora ㉜ es $1/x$ de ㉛ (o dividir horas por unidad entre una hora).

Cada compañía tiene un método para registrar la información de tiempos estándar. En una sección anterior de este capítulo se mostró la gráfica de una fábrica de válvulas para agua. Los tiempos estándar podrían escribirse en esa hoja de operaciones (vea la figura 3-3). La hoja de ruta de la producción es otra herramienta común para comunicar el estándar de tiempo. La computadora es el método más común por el que se almacena y notifica a todos cuál es el estándar de tiempo para cada trabajo.

Todavía quedan algunos elementos de información por estudiar en el formato de estudio de tiempos paso a paso:

㉝ Ingeniero: aquí escribe su nombre el tecnólogo que haga el estudio de tiempos.

㉞ Fecha: un estudio de tiempos con fecha incompleta, no tiene ninguna utilidad.

㉟ Aprobado por: aquí es donde firma el ingeniero en jefe o el director, quienes aprueban el trabajo. Usted nunca llena este campo.

En la figura 3-8 se ha incluido un problema de ejemplo. Se recolectaron los datos, el trabajo se descompuso en sus elementos y se realizó el estudio de tiempos. Usted necesita continuar el estudio y desarrollar un estándar de tiempo. Éste fue un estudio de tiempos continuo, lo que debiera ser obvio porque los tiempos son cada vez mayores. La extensión comenzará con la sustracción de las lecturas elementales para encontrar el tiempo elemental.

Calificación, nivelación y normalización

Calificar es el proceso de ajustar el tiempo individual tomado por un operador a lo que podría esperarse de un operador normal. El ingeniero industrial debe comprender los estándares *normales* de la industria. Calificar a un operador incluye cuatro factores: **1.** habilidad, **2.** consistencia, **3.** condiciones de trabajo, y **4.** esfuerzo (que es lo más importante).

Tres de estos cuatro factores se toman en cuenta de otras maneras y tienen poco efecto en la calificación. El esfuerzo es la preocupación principal.

1. *Habilidad.* El efecto de la habilidad se minimiza si sólo se cronometra a individuos habilitados. Los operadores deben estar capacitados por completo en su clasificación del trabajo antes de que se estudien sus tiempos. Un soldador debe ser calificado antes de que se le considere sujeto de un estudio de tiempos. Se requieren dos años de capacitación para convertirse en soldador y, además, debe permanecer en dicho trabajo al menos durante dos semanas antes de realizar el trabajo con suficiencia. Los hábitos de patrones de movimiento deben ser suficientemente rutinarios para que el operador no tenga que pensar lo que hará a continuación y en dónde se localiza todo. Los operadores muy hábiles hacen que un trabajo parezca fácil, y el tecnólogo industrial no debe permitir que esto afecte la calificación. Por otro lado, si un operador muestra falta de habilidad, por ejemplo, si suelta o se le caen los objetos, tiempos inconsistentes, se detiene y vuelve a comenzar, etcétera, el tecnólogo debe posponer el estudio o encontrar a otra persona para estudiar sus tiempos.

2. *Consistencia.* La consistencia es el indicador más grande de habilidad. Los operadores son consistentes si operan los elementos de trabajo en el mismo tiempo, ciclo tras ciclo. El técnico de estudios de tiempos comienza a prever el punto final, al mismo tiempo que mira el reloj y escucha el punto de terminación. Se dice que el operador parece una máquina. La consistencia se usa para determinar el número de ciclos. Un operador consistente necesita trabajar sólo unas cuantas partes antes de que el ciclo temporal se conozca con exactitud. La habilidad del operador debe ser evidente para el técnico que hace el estudio de tiempos, y la calificación que éste otorga al operador debe ser alta. Si hay inconsistencia presente, el tecnólogo debe tomar muchos ciclos más para que tengan exactitud aceptable en el estudio de tiempos. Esta inconsistencia tiende a afectar la actitud del tecnólogo y califica al operador de forma negativa; lo mejor que podría hacer sería encontrar a alguien más como objeto de su estudio. Es más agradable calificar y trabajar con operadores que tienen mucha habilidad.

3. *Condiciones de trabajo.* Éstas afectan el rendimiento de un operador. A principios del siglo XX, éste era un problema más grave que en la actualidad. Pero si se pide a los empleados que trabajen en un ambiente caliente, frío, con polvo, sucio o ruidoso, su rendimiento disminuirá. Estas malas condiciones de trabajo podrían eliminarse si se evidencia el costo verdadero. La forma de tomar en cuenta las condiciones de trabajo deficientes consiste en incrementar las tolerancias (se estudian después, en este capítulo). Si se pide a los operadores que levanten materiales pesados en el desempeño de sus deberes, hay que agregar una tolerancia de 25 por ciento más al estándar de tiempo. Las condiciones de trabajo no son parte de la calificación moderna.

4. *Esfuerzo.* El esfuerzo es el factor más importante de la calificación. Es la velocidad o *tempo* del operador, y se mide con base en el operador normal que trabaja al 100 por ciento. Como ya se dijo, la calificación de 100 por ciento para el rendimiento está definida así:

a. Caminar 264 pies en 1.000 minutos, o 3 millas por hora.
b. Repartir 52 cartas en cuatro manos alrededor de una mesa de 30×30 pulgadas, en .500 minutos.
c. Ensamblar 30 pernos de $3/8 \times 2$ pulgadas en un tablero, en .435 minutos.

El esfuerzo se visualiza con facilidad en una caminata. Caminar a velocidades menores de 100 por ciento es incómodo para la mayoría de personas, y hacerlo al 120 por ciento requiere una sensación de urgencia que indica un esfuerzo mayor.

La psicología ha sido buena para el técnico de estudios de tiempos. La tendencia normal de la gente cuando se le observa es acelerar lo que hace. Al observarla, la gente se pone nerviosa y el cuerpo convierte la energía nerviosa en un *tempo* más rápido. Entonces, el técnico en estudios de tiempos con frecuencia tiene una alta probabilidad de calificar por arriba del 100 por ciento. Cuando un operador trabaja al 120 por ciento, el tecnólogo tiene la experiencia placentera de decirle: "eres rápido. Voy a tener que darte 20 por ciento más veces de modo que una persona promedio pueda hacer el trabajo". Esto es algo divertido de decir y ocurre con frecuencia.

Al calificar, el técnico debe mantenerse en sintonía con el ritmo normal. Esto requiere una práctica continua de su parte, para siempre. Se han desarrollado experimentos y videos para ayudar a que la calificación sea exacta.

Los PTSS se han desarrollado con base en el concepto de normalidad de acuerdo con los estándares de la industria, y se obtiene una calificación sintética a la vez, estudiando un trabajo que ha sido probado por los PTSS. Una buena técnica de aprendizaje, usada en muchas compañías, es hacer que tecnólogos nuevos realicen estudios de tiempos de manufactura conocidos y comparen sus estándares de tiempo con los que ya se conocen. Otra buena experiencia de aprendizaje es tomar el tiempo a personas diferentes que hacen el mismo trabajo. El esfuerzo y la habilidad son las únicas diferencias en el tiempo, por lo que una calificación apropiada debe hacer que todos los tiempos normales sean los mismos (vea la figura 3-9).

Muchas empresas utilizan películas sobre la calificación de estudios de tiempos, desarrolladas por asociaciones industriales y organizaciones profesionales como las siguientes:

Society for the Advancement of Management (SAM)
Tampa Manufacturing Institute
Ralph Barnes and Associates
Faehr Electronic Timers, Inc.

Todos estos grupos producen películas acerca de calificaciones en estudios de tiempos. La revista *Industrial Engineering* también es una buena fuente.

TOLERANCIAS

Las *tolerancias* son el tiempo extra que se agrega al tiempo normal para que el estándar de tiempo sea práctico y alcanzable. Ningún administrador o supervisor espera que los empleados trabajen cada minuto de una hora. ¿Qué debiera esperarse del empleado? Ésta fue la pregunta que hizo Frederick W. Taylor hace más de 100 años. ¿Esperaría que el empleado trabajara 60 minutos por hora? ¿Qué tal 40 minutos? ¿O 50? Esta sección auxiliará al tecnólogo para que responda la pregunta de Taylor.

Tipos de tolerancia

Las tolerancias se dividen en tres categorías:

1. Personal.
2. Fatiga.
3. Retraso.

1. En trabajos estandarizados en forma correcta, las personas saludables con equilibrio mental, alcanzan con facilidad un desempeño de 100 por ciento. Para el pago por incentivos, los operadores buenos, por lo general, trabajan a ritmos de 115 a 135 por ciento, en función de los trabajos e individuos.
2. Para la mayoría de individuos, *resulta incómodo trabajar a un* tempo *muy por debajo del 100 por ciento, y es cansado en extremo operar a ritmos menores de 75 por ciento durante periodos sostenidos*; nuestras reflexiones van de manera natural, hacia trabajar más rápido.
3. La baja eficiencia en un trabajo estandarizado de manera correcta, por lo general, provoca que la labor se detenga con frecuencia, por tonterías de lo más variado. En específico, *es raro que la producción esté por debajo de los estándares debido a la incapacidad de trabajar a un ritmo normal.*
4. Algunos estándares de 100 por ciento son éstos:
   a. Caminar a tres millas por hora o a 264 pies por minuto.
   b. Repartir cartas en cuatro mazos en .5 minutos.
   c. Llenar un tablero en .435 minutos.
5. En la industria, muy rara vez se encuentra un rendimiento *verdadero* de más de 140 por ciento.
6. Cuando un operador obtiene eficiencias altas en extremo, por lo general, es un signo de que el método cambió o de que el estándar original estaba equivocado.
7. Los operadores que trabajan lentamente durante un estudio de tiempos no afectan el estándar final. Su tiempo *real* se multiplica por la regla del rendimiento para obtener un estándar de trabajo que es justo para todos los empleados.
8. En tanto se trate de empleados saludables, podrían variar el ritmo de aproximadamente 80 por ciento a alrededor de 130 por ciento, en un rango de 50 por ciento; deben aceptarse con sensibilidad inexactitudes razonables en el establecimiento de estándares.
9. Por lo general, los supervisores ineficaces son hostiles hacia los estándares de trabajo. *Sin embargo, los buenos supervisores cooperan con sinceridad en el esfuerzo de establecer estándares, porque ven con claridad que tal información es su mejor herramienta para la planeación y el control.*
10. *En general, los métodos influyen en la producción más que el ritmo de trabajo.* No hay que concentrarse tanto en qué tan rápido o lento "parecen" estar trabajando los operadores, como para ignorar si están usando o no el método correcto.

Figura 3-9 Fundamentos de la calificación del ritmo (cortesía de *Tampa Manufacturing Institute*).

Tolerancia personal

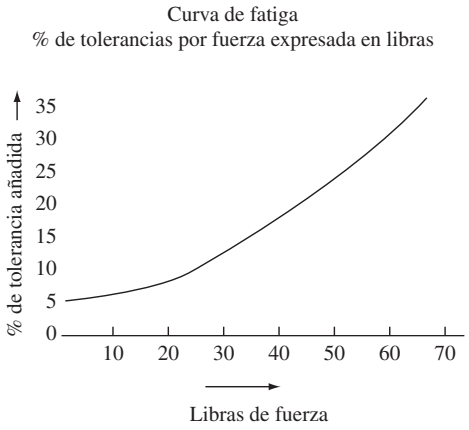
La *tolerancia personal* es el tiempo que se da a un empleado para llevar a cabo actividades tales como:

1. Hablar con amigos acerca de temas que no son del trabajo.
2. Ir al baño.
3. Tomar una bebida.
4. Cualquier otra razón controlada por el operador para no trabajar.

La gente necesita tiempo personal y ningún administrador se molestará por una cantidad apropiada de tiempo dedicado a dichas actividades. Se ha definido que una cantidad apropiada de tiempo es el cinco por ciento del día laboral, es decir, 24 minutos por día.

Tolerancia por fatiga

La *tolerancia por fatiga* es el tiempo que se concede a un empleado para recuperarse de la fatiga. El tiempo de tolerancia por fatiga se da a los trabajadores en forma de recesos en la labor, comúnmente se conocen como tiempo para el café. Los recesos tienen lugar a intervalos



1. 5%, mínimo de tolerancia por fatiga.
2. 5% de incremento en las tolerancias por fatiga por cada 10 libras de incremento en la fuerza por arriba de 10 libras.
3. La fuerza es el peso de la parte, si es que se levanta.

Figura 3-10 Curva de tolerancia por fatiga: tolerancias porcentuales por libra de fuerza.

variables y son de distinta duración, pero todos están diseñados para permitir que los empleados se recuperen del cansancio por trabajar. La mayoría de los empleados de hoy, tienen muy poca carga física implícita en sus trabajos, pero la fatiga mental es igual de agotadora. Si los empleados usan menos de 10 libras de esfuerzo durante la operación de su tarea, entonces es normal una tolerancia por fatiga de cinco por ciento. Por cada incremento de 10 libras en la realización del esfuerzo que hace el empleado se da un incremento de cinco por ciento en la tolerancia por fatiga (vea la figura 3-10).

Ejemplo. Un empleado debe acarrear una componente de 50 libras. La tolerancia por fatiga es de $(50 - 10) \div 10 = 4.0$ unidades de 10 libras.

$$5 \text{ por ciento} + (4 \times 5) = 25 \text{ por ciento de tolerancia}$$

Explicación del ejemplo. La tolerancia básica por fatiga es de cinco por ciento, y otro cinco por ciento adicional se agrega por cada 10 libras de fuerza que se requieran por arriba de 10 libras. Cincuenta libras son cuarenta más que lo básico; 40 libras son cuatro unidades de peso en exceso (10 libras son una unidad); cuatro unidades por cinco por ciento son iguales a 20 por ciento de fatiga en exceso; 20 por ciento más cinco por ciento básico, es igual a 25 por ciento de tolerancia por fatiga.

El peso tiene que acarrearse cada minuto. Si la frecuencia fuera de una vez cada cinco minutos, las 50 libras se dividirían entre cinco.

$$5 \text{ por ciento} + \left(\frac{4}{6} \times 5\right) = 9 \text{ por ciento}$$

La tolerancia básica por fatiga aún es de cinco por ciento. Si se levantara un objeto de 50 libras tan sólo una vez cada cinco minutos, sólo se consideraría un quinto del peso en exceso. Cuarenta libras son cuatro unidades de peso, por tanto:

$$\frac{\text{Cuatro unidades} \times 5 \text{ por ciento}}{5} = \text{por ciento de tolerancia por fatiga en exceso}$$

El cinco por ciento básico más cuatro por ciento en exceso, es igual al nueve por ciento de tolerancia por fatiga.

Ahora debe calcularse la duración de los recesos. Es común interpretar el cinco por ciento de tolerancia normal por fatiga como dos recesos de 12 minutos, uno a media mañana y otro en mitad de la tarde, o una combinación de ambos, sumando hasta 24 minutos. El cinco por ciento de los 480 minutos en un día de ocho horas de trabajo, es 24 minutos.

Tolerancias de 70 por ciento serían igual a 82 minutos por día. ¿Cómo se introducirán estos en la frecuencia y duración de los recesos? Se sugiere que se den 11 minutos cada hora, excepto para la hora anterior al almuerzo. Siete recesos de 11 minutos corresponden a 77 minutos, más un periodo de cinco minutos para limpiar el área al finalizar el turno. Observe que un trabajo pesado, como el que aquí se está analizando, cansará al trabajador más rápido que una labor ligera o mental, y el incremento de recesos no sólo se justifica sino que también aumentará la producción. Los recesos en el trabajo permiten que los empleados se recuperen, por lo que cuando regresan al trabajo su tasa de producción es más alta de lo que sería si no los tomaran. El receso paga de más por sí mismo.

1. La tolerancia mínima por fatiga es de cinco por ciento.
2. Cinco por ciento de tolerancias por fatiga incrementadas por 10 libras de aumento en la fuerza por arriba de 10 libras.
3. La fuerza es el peso de la parte que se levanta.

Tolerancias por retrasos

Las tolerancias por retrasos son inevitables debido a que se encuentran fuera del control del operador. Algo pasa que impide trabajar al empleado. La razón debe conocerse y el costo contabilizarse para desarrollar la justificación de éste. Algunos ejemplos de retrasos evitables incluyen los siguientes:

1. Espera de instrucciones o asignaciones.
2. Espera de materiales o equipo para manejarlos.
3. Descompostura o mantenimiento de maquinaria.
4. Instruir a otros (capacitación de empleados nuevos).
5. Acudir a reuniones, si se autoriza.
6. Esperas por los arranques; los operadores deben ser animados para preparar sus propias máquinas; un arranque está completo cuando lo aprueba el control de calidad.
7. Lesiones o prestar primeros auxilios.
8. Trabajo sindical.
9. Problemas por retrabajos (sin responsabilidad por parte del empleado).
10. Trabajo no estandarizado; máquina equivocada u otro problema.
11. Afilar herramientas.
12. Trabajos nuevos para los que aún no se ha estudiado los tiempos.

El rendimiento del operador no debe penalizarse por problemas fuera de su control (los retrasos que sí están controlados por él se denominan tiempo personal y no están considerados aquí).

Existen tres métodos para contabilizar y controlar los retrasos inevitables:

1. Sumar al estándar las tolerancias por retrasos.
2. Hacer estudios de tiempos de las tolerancias y sumarlos al estándar de tiempo.
3. Asignar el tiempo a un cargo indirecto.

El objetivo del estudio de tiempos es eliminar las tolerancias por retrasos. Esto se logra mejor con el estudio de tiempos del retraso para sumarlos al tiempo estándar. Sin embargo, algunos retrasos son tan complicados que negociar una tolerancia con el operador ahorrará tiempo y dinero para la empresa. Por ejemplo, suponga que usted plantea esta pregunta: "¿Cuánto tiempo del día dedicas a limpiar la máquina?" El operador siempre dirá, "Bueno, eso depende", y el tecnólogo a su vez deberá preguntar algo como esto:

¿Cuál es el tiempo máximo?

¿Cuál es el tiempo mínimo?

¿Piensas que 15 minutos es un buen promedio?

Si el operador estuviera de acuerdo en que 15 minutos por día es una cifra apropiada, entonces el tecnólogo calculará una tolerancia por retraso, así:

$$\frac{\text{15 minutos de limpieza}}{\text{480 minutos por turno}} = \text{3 por ciento}$$

Se agregará una tolerancia de tres por ciento a la tolerancia personal de cinco por ciento, más la tolerancia por fatiga de cinco por ciento, para producir un 13 por ciento de tolerancia total.

Por lo general, los retrasos inevitables pueden eliminarse o preverse. Los estándares de tiempo en forma de datos estándar se establecen y se suman al estudio de tiempos para compensar al operador. Un retraso inevitable es un elemento extraño. Aquellos retrasos inevitables que no es posible prever requieren operadores para cargar su tiempo a una cuenta indirecta: juntas, lesiones, descomposturas de máquina, y retrabajos son algunos de los ejemplos. Se pedirá a los supervisores que aprueben todos los cargos indirectos, y el tiempo debe ser de más de seis minutos para que sea significativo en cuanto a la estadística. Los empleados no deben ser castigados por la falta de planeación de la gerencia, pero debe avisarse al supervisor con tanta anticipación como sea posible. Tal vez convenga la reasignación.

Una última precaución acerca de las tolerancias por retrasos. No introduzca nada en el estándar de tiempo con lo cual no se pueda vivir. Es difícil sacar algo del estándar una vez que se incluyó. La mayoría de compañías han eliminado las tolerancias por retrasos, pero permiten que los operadores marquen cualquier cosa no cubierta por el estándar de tiempo.

Las tolerancias por fatiga y retrasos se suman juntas, y la tolerancia total se agrega al tiempo normal, como sigue:

$$\text{Tiempo normal} + \text{tolerancia} = \text{tiempo estándar}$$

Métodos de aplicación de tolerancias

Las tolerancias se suman en cuatro formas diferentes. Las formas en este libro usan sólo uno de dichos métodos; pero existen buenas razones para utilizar los otros tres. Cada compañía tiene su propia manera de hacer los estudios de tiempos y procedimientos, tal forma dicta cuál método usar para aplicar las tolerancias. Aquí se presentan los cuatro métodos a fin de que sea fácil su aplicación.

Método 1: 18.5 horas por 1,000

Este método es el más sencillo de todos y reduce las etapas matemáticas. También se basa en una tolerancia constante, en este caso, 10 por ciento.

Si un trabajo toma 1,000 minutos de tiempo normal, ¿cuántas piezas se producirán por hora? A razón de una por minuto, en una hora podrían producirse 60, pero usted quiere ser práctico y agrega tolerancias de 10 por ciento. El 10 por ciento de 60 es seis, por lo que un estándar de tiempo apropiado sería 54 piezas por hora. ¿Cuántas horas tomaría producir 1,000 unidades a razón de 54 por hora? Mil dividido entre 54 es igual a 18.5 por 1,000, de ahí el nombre de este método. Se requieren tres números para comunicar un estándar de tiempo:

Minuto decimal = 1.000
Horas por 1,000 = 18.5
Piezas por hora = 54

Todos los estándares de tiempo comienzan con un minuto decimal, por lo que si el estándar siguiente es .5 minutos, las horas por 1,000 son iguales a $.5 \times 18.5 = 9.25$ horas por 1,000, y el número de piezas por hora es $1/x$, o 108 piezas por hora. Intente resolver estos ejemplos:

Minutos normales	*Horas por 1,000 (18.5)*	*1/X piezas por hora*
.250	4.625	216
.333		
.750		
1.459		
2.015		

Observe que no se han hecho cálculos para agregar las tolerancias; todo estriba en el 18.5. ¿Cuántas horas por 1,000 resultarían con tolerancias de 15 por ciento?

Método 2: tolerancia constante sumada al tiempo normal

El método 2 es el que se usa en este texto y es la técnica más común en la industria. Cada departamento o planta sólo tiene una tasa de tolerancia. La tolerancia promedio está entre 10 y 15 por ciento. Una explicación, como la que se muestra a continuación, de cómo se forma ésta debe incluir lo siguiente:

Tiempo personal = 24 minutos
Dos recesos de 10 minutos = 20 minutos
Tiempo para limpiar = 4 minutos
Total de tolerancias = 48 minutos

$$\frac{48 \text{ minutos}}{480 - 48 \text{ minutos}} = 11 \text{ por ciento}$$

Se suma 11 por ciento al tiempo normal para obtener el tiempo estándar, o 111 por ciento por los tiempos normales es igual al tiempo estándar:

$$1.000 + .11 = 1.110 \text{ minutos}$$

$$1.000 \times 111 \text{ por ciento} = 1.110 \text{ minutos}$$

El formato del estudio de tiempos le indicará qué cálculos realizar.

Método 3: técnica de las tolerancias elementales

La teoría tras esta técnica es que cada elemento de un trabajo tiene tolerancias diferentes, como se ve en el ejemplo siguiente:

Descripción del elemento	*Tiempo unitario normal*	*Tolerancia, %*	*Tiempo estándar*
1. Asignar tareas a la máquina	.250	15	.288
2. Tiempo en la máquina	.400	5	.420
3. Descargar máquina	.175	10	.193

Observe que la tolerancia de cada elemento es diferente. El elemento 1 está controlado por el operador y está involucrada una pieza pesada. Por tanto, se incluyeron más tolerancias. El elemento 2 es un elemento de máquina, y el operador sólo está detenido, no hubo fatiga. El elemento 3 es una fatiga normal de cinco por ciento, más un cinco por ciento de tolerancia personal.

La ventaja obvia de este método es la mejora en los estándares de tiempo elemental. La desventaja es el esfuerzo matemático adicional que se requiere. El formato de estudio de tiempos tendría que rediseñarse para dar acomodo a este método, y como sucede con todas las tolerancias, le indicaría qué técnica usar.

Método 4: la técnica de tolerancia elemental PFyR

Igual que en el método 3, en cada elemento se introduce tolerancia, y el método de personal, fatiga y retraso (PFyR), muestra la forma exacta cómo se desarrolló la tolerancia. Esta técnica es la más completa de todas.

Ejemplo:

Descripción del elemento	*Tiempo unitario normal*	*Tolerancias, %*			*Total*	*Tiempo estándar*
		P	*F*	*D*		
1. Asignar tareas a la máquina	.250	5	10	0	15	.288
2. Operar máquina	.400	0	0	5	5	.420
3. Descargar máquina	.175	5	5	0	10	.193

Esta técnica para aplicar tolerancias requiere de mucho tiempo y esfuerzo. Es muy descriptiva, pero el costo es demasiado alto para la mayoría de las empresas.

Las tolerancias son una parte importante del estándar de tiempo y si se establecen en forma apropiada auxiliarán a la mejora continua de la calidad de vida en el trabajo. Si un trabajo tiene aspectos indeseables que no reflejen el ciclo individual, las tolerancias deben reflejarlo. De ese modo, existe dinero para justificar el cambio necesario. Una tasa base de 10 por ciento que abarque toda la planta sigue siendo muy deseable, pero, de ser necesario, podrían añadirse tolerancias adicionales. Los formatos usados en este texto permiten un rango para las tolerancias.

Muestreo del trabajo

El *muestreo del trabajo* es el mismo proceso científico usado en las calificaciones de Nielsen, las encuestas de Gallup, los sondeos de actitud y las estadísticas federales de desempleo. Los técnicos observan a la gente mientras trabaja y sacan sus conclusiones. De hecho, todo aquel que haya trabajado alguna vez con otra persona ha hecho muestreo del trabajo; tiene una opinión de qué tan duro trabaja la otra persona:

"Siempre que la veo está trabajando".
"Nunca está trabajando".
O una opinión parecida.

Los supervisores, con el uso de muestreo informal del trabajo, se están formando todo el tiempo actitudes acerca de los empleados.

Los ingenieros industriales podrían caminar por la planta y hacer la afirmación: "Esta planta está trabajando al 75 por ciento de rendimiento". Debieran agregar 10 por ciento, o algo así, en función del número de personas que observaron (número de muestras). El lector podría alguna vez dar una caminata por una planta de 250 personas y contar a las que están trabajando y a las que no, y con ello calcular el rendimiento de la planta ± 10 por ciento. Es frecuente que los consultores en ingeniería industrial comiencen una propuesta de trabajo con estadísticas como ésas. Los consultores esperan encontrar un rendimiento de 60 por ciento en plantas sin estándares, pero se trata de un promedio. Una planta podría estar mejor administrada y promediar entre 70 y 75 por ciento, pero ahí no se podría ahorrar mucho. No es difícil establecer estándares con el empleo de muestreo del trabajo. El ingeniero industrial muestrea un departamento y encuentra las estadísticas siguientes:

Tarea	*Núm. de observaciones*	*% total*	*Horas trabajadas*	*Piezas producidas*	*Piezas por hora*[a]
Ensamblar	2,500	62.5	625	5,000[b]	8
Ocio	1,500	37.5	375	—	
Total	4,000	100.0	1,000[c]		

[a] Piezas por hora $\frac{\text{piezas} = 5{,}000}{\text{horas} = 625} = 8$ piezas por hora.

[b] Del supervisor (número de productos terminados en el almacén).
[c] De la nómina (horas pagadas durante el estudio).

Ocho piezas por hora no se acerca al tiempo estándar, pero aún no han agregado las tolerancias. ¿Cuánto tiempo se incluye en las 625 horas para recesos, programados o no? ¿Cuánto por retrasos? Ninguno. Las horas reales trabajadas son 625. El resto de tiempo no trabajado es parte de las 375 horas que se eliminan. Podría agregarse una cantidad apropiada de tiempo extra para cubrir el tiempo personal, de fatiga o retraso (tolerancias). Se considera normal un tiempo extra de 10 por ciento. Un estándar de tiempo de 7.3 piezas por hora sería adecuado.

Datos estándares

Los datos estándares deben ser el objetivo de todo departamento de estudio de tiempos y movimientos. Constituyen la técnica más rápida y barata para establecer tiempos estándares, y llegan a ser más exactos y consistentes que cualquier otro método de estudio de tiempos. El ingeniero industrial, al comenzar con muchos estándares de tiempo establecidos previamente, trata de imaginar lo que ocasiona que el tiempo varíe de un trabajo a otro en una máquina específica o una clase de máquina. Por ejemplo, el tiempo que se camina sería directamente proporcional al número de pies, pasos, yardas o metros. Quizá haya dos curvas en la gráfica: con obstrucción y sin obstrucción.

Otro ejemplo es contar cartas de juego. El tiempo para contarlas estaría en proporción directa al número de cartas que se cuenta. ¿Usted imaginaría cualesquiera otras razones de las variaciones del tiempo?

Existen varias formas de comunicar el estándar de tiempo a las generaciones futuras de trabajadores, supervisores e ingenieros de la fábrica: **1.** gráfica (vea la figura 3-11), **2.** tabla, **3.** hoja de trabajo (de nuevo, vea la figura 3-11), y **4.** fórmula.

Las máquinas cortadoras de metal son ejemplos de la necesidad de usar fórmulas. Una especificación requiere que se perfore un agujero en una placa de acero. Se necesitan tres elementos de información:

1. ¿Cuál es el diámetro y la profundidad del agujero?
2. ¿Cuál es el material?
3. ¿Qué herramienta se usa?

Con esta información, se miran las alimentaciones y velocidades en el *Machinery's Handbook*.[1] Estas alimentaciones y velocidades se comunican como sigue:

Velocidad de 500 pies por minuto.
Alimentación de .002 pulgadas por revolución.

Al sustituir esta información en tres fórmulas sencillas, se determina el tiempo estándar.

Otras máquinas, como las soldadoras, tienen fórmulas más sencillas, tales como 12 pulgadas por minuto. Los fabricantes de maquinaria son una rica fuente de datos estándar.

[1] *Machinery's Handbook*, New York: The Industrial Press.

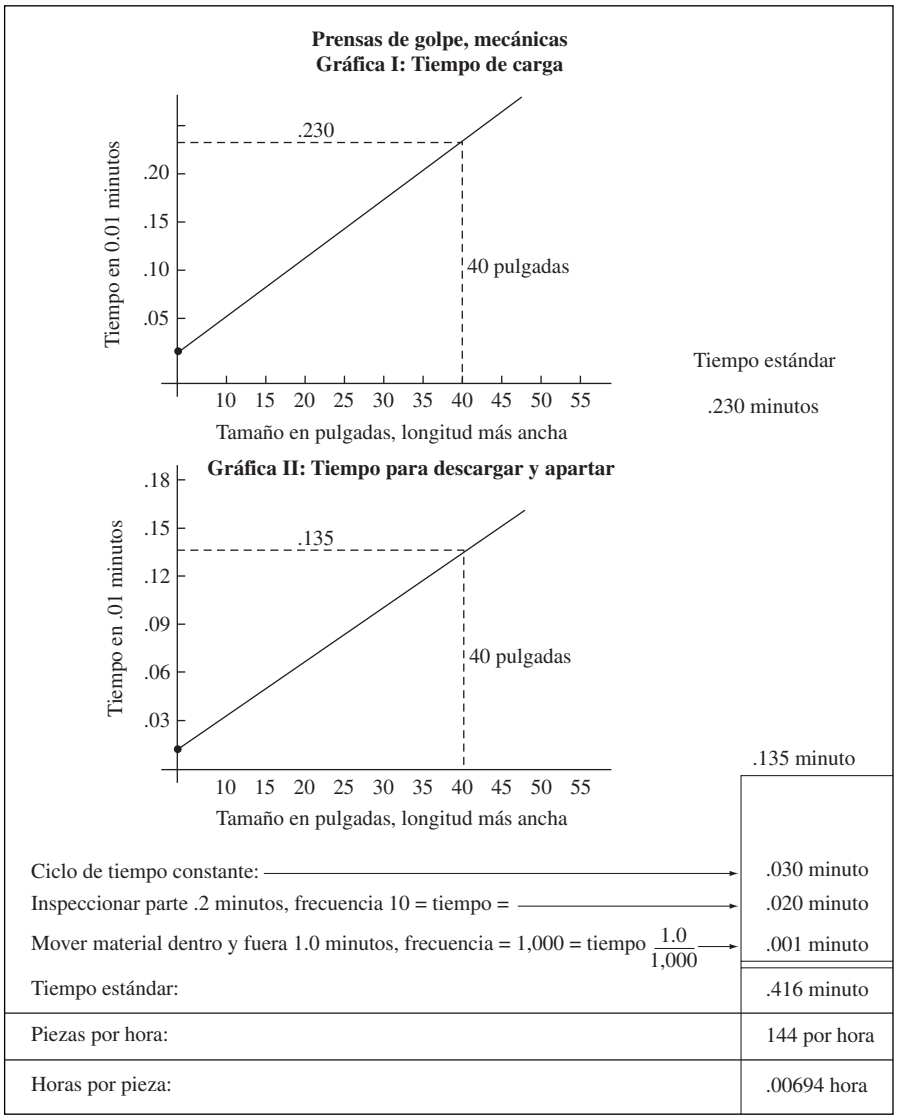


Figura 3-11 Ejemplo de hoja de trabajo de datos estándar.

La opinión de los expertos en los estándares de tiempo y los datos históricos

Una opinión experta de un estándar de tiempo es una estimación del tiempo que se requiere para efectuar un trabajo específico. Dicha estimación es realizada por una persona con bastante experiencia. Muchas personas afirman que: "usted no puede establecer estándares de tiempo para mi trabajo". La respuesta de un buen ingeniero industrial sería: "tiene razón, pero conozco a alguien que sí puede: ¡usted!..." La naturaleza individual de muchos

	Volumen de producción		
Ciclo de tiempo	*Alto, miles*	*Medio, cientos*	*Bajo, decenas*
Largo	Muestreo del trabajo	Muestreo del trabajo	Opinión experta
		Cronómetro	Muestreo del trabajo
			Historia
Medio	Muestreo del trabajo	Cronómetro	Opinión experta
	Cronómetro	Muestreo del trabajo	Historia
	PTSS		Cronómetro
Corto	PTSS	PTSS	Cronómetro
		Cronómetro	Opinión experta

Nota: los datos estándares son la técnica definitiva de estándares de tiempo y podrían utilizarse en cualquier situación. Los datos estándares deben ser el objetivo de todos los departamentos de estudio de tiempos.

Figura 3-12 ¿Qué técnica de estándares de tiempo se usa?

trabajadores de apoyo y servicios hace que la obtención de estándares de tiempo con las técnicas más tradicionales no sean rentables. Los ingenieros de mantenimiento y algunos trabajadores de oficina nunca realizan el mismo trabajo dos veces, pero aun así se requieren metas (estándares de tiempo). El trabajo de mantenimiento se controla por medio de una orden de trabajo. ¿Por qué no preguntar a un experto cuánto tiempo llevará el trabajo requerido? En las compañías bien administradas, los proyectos nuevos de mantenimiento no se aprobarán mientras no se estime el trabajo. Dichos estándares de tiempo se usarían para programar y controlar las labores de mantenimiento, igual que se haría con el trabajo que ejecuta un operador de máquina.

El conocedor que tiene la opinión experta en un sistema de estándares de tiempo generalmente es el supervisor. En los departamentos grandes es posible recurrir a un especialista. Por ejemplo, en el departamento de mantenimiento, la persona se denominaría planeador de mantenimiento. El experto estimaría cada trabajo en forma anticipada a su ejecución. Dicha anticipación daría al departamento tiempo para planear las actividades, y así realizarlas con más eficacia.

Los datos históricos son un enfoque alternativo a la opinión de los expertos en sistemas de estándares de tiempo. Se conserva un registro de cuánto tiempo se usó en cada trabajo. Cuando un trabajo nuevo surge, se compara con un estándar previo. Después, estos estándares se usan en un sistema de control del rendimiento. El problema con los estándares de tiempo históricos es que no reflejan el tiempo que debe tomar el trabajo. En tal sistema, hay ineficiencia implícita, pero un estándar malo es mejor que ninguno.

La figura 3-12 ayudará al lector a elegir la técnica correcta para establecer estándares de tiempo.

ESTÁNDARES DE TIEMPO PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE MANUFACTURA

El estudio de tiempos no siempre significa hacerlo con cronómetro. El método del cronómetro para establecer estándares de tiempo no es muy útil en el diseño de instalaciones de

manufactura porque se necesita saber el tiempo requerido por cada elemento del trabajo antes de que comience la producción.

Por esta razón, se emplean estándares de tiempo predeterminados o sistemas de datos estándar. Los estándares de tiempo se utilizan con cinco propósitos principales en el diseño de instalaciones:

1. Determinar el número de estaciones de manufactura y máquinas.
2. Definir el número de personas.
3. Calcular las velocidades de las líneas de montaje.
4. Balanceo de las líneas de ensamble y empaque.
5. Cargar celdas de manufactura.

En el capítulo siguiente se analizará cada uno de estos temas.

PREGUNTAS

1. ¿Para qué se usan los estándares de tiempo?
2. ¿Cuál es la definición de un estándar de tiempo?
3. ¿Cuáles son los tres números que constituyen un estándar de tiempo?
4. ¿Qué es productividad? ¿Cómo se mide en los individuos?
5. ¿Cuáles son las cinco técnicas para establecer estándares de tiempo?
6. ¿Qué técnica se usaría si no hay estación de manufactura disponible?
7. ¿Cuál es la técnica más popular?
8. En el trabajo de mantenimiento, ¿cuál técnica se emplearía?
9. ¿Cuál es la mejor técnica para establecer estándares de tiempo?
10. ¿Cuál técnica es tanto método como técnica de estudio de tiempos?
11. ¿Cuáles son los tres niveles básicos de la productividad?
12. Defina *tiempo del proceso.*
13. ¿Cuántas máquinas deberían comprarse y cuántas personas se deben contratar, si se requieren 3,000 unidades por turno, en una planta con 75 por ciento de eficiencia que tiene 10 por ciento de tiempo inactivo? El estándar de tiempo por máquina es de .284 minutos. ¿Cuál será el costo unitario de la producción si el operador gana $15 por hora? ¿Cuántas unidades se producirán por turno? ¿Cuál es el tiempo del proceso?
14. Calcule las piezas por hora y las horas por unidad para los datos siguientes:

Estándar de tiempo, minutos	*Piezas por hora*	*Horas por pieza*
.300	—	—
2.000	—	—
.450	—	—
.050	—	—

15. Defina *tiempo medido* u *observado, tiempo normal* y *tiempo estándar.*
16. ¿Qué significa *tolerancias* y cuáles son los tipos más comunes de ellas?

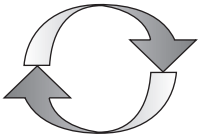
17. ¿En qué difiere el tiempo estándar del tiempo normal?

18. Para un turno dado de 10 horas, con un total de 20 minutos para recesos y 10 minutos para la limpieza al final del trabajo, determine el tiempo del proceso. Suponga una eficiencia de 85 por ciento. Durante el turno se manufacturan 2,500 unidades.

19. El tiempo promedio observado (medido) para una operación está dado como .570 minutos. El operador está calificado con el 95 por ciento. Permita un total de 15 por ciento para PFyR. Si el sueldo de la mano de obra directa es de $12 por hora, determine lo siguiente: (a) tiempo normal, (b) tiempo estándar, (c) piezas por hora, (d) horas por 1,000 piezas, (e) costo estándar por unidad de la mano de obra directa, y (f) costo de la mano de obra directa por unidad producida por este trabajador.

20. Se realizan tres operaciones sobre un elemento. Si dichas operaciones producen 1, 3.5 y .5 por ciento de desperdicio, respectivamente, determine el número de preparaciones necesarias para comenzar el proceso si se requieren 5,000 unidades terminadas.

PROYECTO EN LA PRÁCTICA



El tema del estudio de tiempos y movimientos es una disciplina por sí misma y es más benéfica si se estudia con detalle. Con frecuencia, el tema se cubre con más profundidad en un curso separado como prerrequisito para el diseño de instalaciones. Por lo general, dichos cursos requieren proyectos que tienen que ver con el desarrollo de estándares de tiempo y pueden expandirse hacia varios aspectos del diseño de estaciones de manufactura y el tema de la economía de movimientos.

Aunque este capítulo lo introdujo al estudio de tiempos, los autores no esperarían que en realidad usted determine estándares de tiempo para el caso de estudio de Shade Tree Grill. Se supone que los datos de estándares de tiempo los proporcionará el departamento de ingeniería industrial de Shade Tree Grill Company. Dichos datos son vitales para determinar los requerimientos de equipo y personal, hacer el balanceo de las líneas de ensamble, establecer las velocidades de los transportadores, y estimar los costos del producto, entre otras necesidades. Sin embargo, el uso de datos estándares se ilustra a lo largo de los capítulos siguientes.

C A P Í T U L O

4

Diseño del proceso

El ingeniero de procesos tal vez sea la misma persona que el diseñador de instalaciones, pero entre más grande sea la empresa, menos probable es que sea así. En las compañías grandes, el diseñador de instalaciones de manufactura es alguien que recaba la información que se usa en dicha labor. Las compañías grandes tienen departamentos llamados de procesamiento, de diseño de herramientas, de estándares de tiempo, de ergonomía, de empaque de la producción, etc. En esencia, el ingeniero de procesos o diseñador, ya sea un individuo o un departamento, está a cargo de todas esas tareas. El diseñador de procesos determina cómo se fabricará el producto y todos sus componentes. Entre la información que provee el diseñador de procesos se encuentra la siguiente:

1. Secuencia de operaciones para manufacturar cada parte del producto (las partes que "hace" la empresa, porque las que "compra" no son problema suyo).
2. Maquinaria, equipo, herramientas y accesorios, entre otros, que son necesarios.
3. Secuencia de operaciones en el ensamblado y el empaque.
4. Tiempo estándar para cada elemento de manufactura (esto podría estar a cargo de otro departamento de la compañía).
5. Determinación de velocidades del transportador de montaje para las celdas, líneas de ensamble y empaque, y pintura u otros sistemas de terminado.
6. Balanceo de las cargas de trabajo en las líneas de ensamble y empaque.
7. Asignación de trabajos en las celdas de manufactura.
8. Desarrollo de un plano de la estación de manufactura para cada operación, con la inclusión de todos los principios de economía de movimientos y ergonomía.

En este libro se considerará que el diseñador del proceso y el diseñador de las instalaciones son una misma persona, y que toda la información producida en el departamento

de manufactura será hecha por el mismo individuo: usted. Ésta sería una buena descripción del trabajo y una de las mejores experiencias laborales que experimentaría. Entonces, entenderá en verdad cómo opera su planta.

El diseño del proceso puede dividirse en dos amplias categorías, la *fabricación* y el *ensamble*. En esencia, el proceso de fabricación es, en principio, una actividad que se planea en una hoja de ruta. El diseño del ensamblado y el empaque utilizan las técnicas de las gráficas de ensamble y balanceo de la línea de ensamble.

FABRICACIÓN: MANUFACTURA DE LAS PARTES INDIVIDUALES

Se conoce como *establecer ruta* a la secuencia de etapas que se requiere para producir (manufacturar) una parte única. La parte se mete a la ruta de la primera máquina a la segunda y así sucesivamente, hasta que está terminada para unirse con otras partes. El formato que se emplea para describir el establecimiento de la ruta se conoce como *hoja de ruta*.

Hojas de ruta

Se requiere una hoja de ruta (vea las figuras 4-1 y 4-2) para cada parte individual del producto que se fabrica (para las partes que se manufacturan). Si el producto terminado que se va a hacer tiene 30 partes diferentes, de las que 10 se compran fuera de la compañía (compras) y 20 se elaboran en ésta, entonces se necesitan 20 hojas de ruta. La hoja de ruta enlista las operaciones que se necesitan para fabricar cada parte en la secuencia apropiada. Debe su nombre a la forma en que se usa. Por ejemplo, suponga que requiere producir una orden de 2,500 ejes de vagón. Los departamentos de producción y control de inventarios emitirían una hoja de ruta que mostrara la cantidad de la orden. Después, esta orden se entregaría al departamento de almacén, del que se tomarían los 2,500 ejes para transportarlos a la primera operación (de acuerdo con la hoja de ruta). La hoja de ruta acompañaría al material de una operación a otra, diciendo a los operadores lo que tienen que hacer. También informará al personal de la planta acerca del número de parte, el nombre de ésta, la cantidad por producir (se deja en blanco hasta que se necesita), el número de operación, la descripción de ésta, el número de máquina (si se dispone de él), el nombre de la máquina, la herramienta necesaria y el tiempo estándar.

La hoja de ruta termina con la última operación, antes del ensamble con otras partes. Por ejemplo, si han de soldarse tres partes, cada una pierde su identidad individual una vez unida a las otras, por lo que la hoja de ruta terminará antes de la soldadura. Si una parte individual pasa por una operación de limpieza, pintura y horneado antes de ser ensamblada, entonces, los procesos de limpieza, pintura y horneado se incluirán en la hoja de ruta.

La secuencia de operaciones según aparece en la hoja de ruta afecta la distribución apropiada del equipo en el piso de producción. Se desea que el material fluya suavemente por la planta, desde el almacén de materias primas hacia la primera operación, y de ahí a la segunda, cuya máquina se encuentra junto a la primera. Esto asegurará que las partes viajen una distancia tan corta como sea posible. Las distribuciones orientadas al proceso son aquéllas en que se agrupan todas las máquinas parecidas y las partes se llevan a ellas; mientras que en las orientadas al producto las máquinas se sitúan donde es necesario, con el fin de eliminar el movimiento excesivo. La distribución orientada al proceso ocasiona que las partes salten máquinas y regresen, y debe desalentarse porque agrega costos sin aumentar valor (desperdicio). Cuando se fabrican muchas partes en un grupo de máquinas (lo que

Nombre de la parte	Cuerpo de la caja	Número de parte: 1600	Fecha: 10/22/XX		Cantidad: 1,000
A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
Número de operación	Operación y herramientas	Nombre de la máquina	Núm. de máquina	Piezas por hora	Horas por pieza
	Descripción				
5	Cortar a lo largo	Cortadora	12	1,200	.00083
10	Cortar a lo ancho	Cortadora	12	400	.0025
15	Hacer muescas en las esquinas	Prensa	65	300	.00333
20	Perforar cuatro agujeros	Prensa	65	300	.00333
25	Formar dos patas cortas	Prensa de golpe	55	250	.004
30	Formar dos patas largas	Prensa de golpe	55	250	.004
35					
40					

Figura 4-1 Hoja de ruta.

Hoja de ruta 1

Número de parte: 7440 Nombre de la parte: Cuerpo

Materia prima: 1,020 piezas de acero rolado en frío de 18 × 24 pulgadas para 20 galones

Cantidad de la orden: _____

Núm. de operación	*Nombre de la máquina*	*Operación*	*Piezas por hora Tiempo estándar*
5	Sierra de banda	Cortar a lo ancho	1,400
10	Guillotina	Cortar a lo largo	1,175
15	Prensa de golpe	Formar agujeros de entrada	650
20	Prensa	Formar dos patas	475

Hoja de ruta 2

Número de parte: 7420 Nombre de la parte: Extremo

Materia prima: 1,020 piezas de acero rolado en frío de 6 1/2 × 6 1/4 pulgadas para 20 galones

Cantidad de la orden: El doble del número de cuerpos

Núm. de operación	*Nombre de la máquina*	*Operación*	*Piezas por hora Tiempo estándar*
5	Sierra de banda	Cortar a lo ancho	1,850
10	Guillotina	Cortar a lo largo	950
15	Prensa de golpe	Formar agujeros de las bisagras	825
20	Prensa	Formar tres lados	595

Figura 4-2 Muestra de hojas de ruta.

se denomina distribución orientada al proceso), tal vez sea necesario saltar, pero es deseable minimizar esta acción, así como los retrocesos. Como se menciona, hay dos maneras de cambiar la secuencia con objeto de hacer que el flujo a través de la planta sea suave:

1. Cambiar la hoja de ruta (cambiar un papel), si fuera posible, de modo que la secuencia de la operación concuerde con las demás partes o con la distribución existente (o propuesta) en la planta.
2. Modificar la distribución física de las máquinas de manera que estén en la secuencia correcta.

En primer lugar, se elige cambiar el papel porque es el procedimiento más barato.

Los estándares de tiempo son parte importante de las hojas de ruta. Éstos se usan para determinar cuántas máquinas son necesarias en la distribución; son otra parte importante de la información que puede provenir de otro grupo dentro del departamento de ingeniería de manufactura, pero en muchas compañías son desarrollados por el diseñador de las instalaciones.

En el capítulo 2, la figura 2-3a muestra un dibujo de desglose de una caja de herramientas. Ésta tiene nueve partes diferentes, por lo que serán necesarias nueve hojas de ruta.

Núm. de parte	*Nombre de la parte*	*Cantidad por caja*
1	Extremos del cuerpo	2
2	Repisas	2
3	Cuerpo	1
4	Extremos de la cubierta	2
5	Cuerpo de la cubierta	1
6	Bisagra	1
7	Extremos de la charola	2
8	Cuerpo de la charola	1
9	Asa de la charola	1

La figura 4-2 muestra dos de estas hojas de ruta, y la 4-3 es un resumen de las nueve hojas de ruta.

El número de máquinas necesario

La pregunta de cuántas máquinas deben comprarse sólo puede responderse si se conoce lo siguiente:

1. ¿Cuántas unidades terminadas se necesitan por día?
2. ¿Qué máquina procesa qué partes?
3. ¿Cuál es el tiempo estándar para cada operación?

Nombre de la parte	*Extremos del cuerpo*	*Soportes de la charola*	*Cuerpo*	*Extremos de la cubierta*	*Cubierta*	*Bisagra*	*Extremos de la charola*	*Charola*	*Asa*
				Estándares de tiempo en piezas por hora					
Partes por unidad	2	2	1	2	1	1	2	1	1
Operaciones									
Sierra de banda	1,850	2,750	1,400	2,100	1,750	—	2,250	1,850	—
Guillotina	950	1,400	1,175	1,050	1,320	935	1,220	1,410	—
Golpear	825	—	650	870	759	—	—	—	—
Formar	595	841	475	616	528	—	629	567	—
Rolar (laminar)	—	—	—	—	—	—	—	—	375
				Estándares de tiempo en minutos decimales por unidad* (Dividir las piezas de la parte superior por hora entre 54 minutos)					
Sierra de banda	.029	.020	.039	.026	.031	—	.024	.029	—
Guillotina	.057	.039	.046	.051	.041	.058	.044	.038	—
Golpear	.065	—	.083	.062	.071	—	—	—	—
Formar	.091	.064	.114	.088	.102	—	.086	.095	—
Rolar (laminar)	—	—	—	—	—	—	—	—	.144

*Los estándares de tiempo en minutos decimales se usarán para determinar el número de máquinas necesarias.

Figura 4-3 Resumen de hojas de ruta.

¿Cuántas unidades terminadas se necesitan por día? Esto lo decide el departamento de marketing. Por ejemplo, digamos que se van a manufacturar 2,000 cajas de herramientas por turno de ocho horas. De la figura, la tasa de producción de la planta (tiempo del proceso) se calcula como sigue:

60 minutos × 8 horas	= 480	minutos
Menos el tiempo de ocio	48	minutos
Minutos disponibles por turno	432	minutos
Eficiencia esperada aproximada	80	minutos
Minutos efectivos	= 345.6	minutos por turno de ocho horas

Se tienen 345.6 minutos para producir 2,000 unidades.

$$\text{Tiempo del proceso} = \frac{345.6 \text{ minutos}}{2{,}000 \text{ unidades}} = .173 \text{ minutos por unidad}$$

¿Qué máquina procesa qué partes? Las hojas de ruta que se analizaron con anterioridad dicen cuáles máquinas se necesitan para producir cada parte. La figura 4-3 resume las nueve hojas de ruta necesarias para manufacturar la caja de herramientas. Observe que siete partes diferentes se procesarán en la sierra de banda, ocho en la guillotina, cuatro en prensas de golpe, siete en prensas y sólo una en la roladora.

¿Cuál es el tiempo estándar para cada operación? El tiempo estándar para cada operación en cada parte se da tanto en piezas por hora como en minutos decimales (vea la figura 4-3). Los estándares de tiempo en minutos decimales se necesitan para compararlos con el tiempo del proceso, calculado en la pregunta 1 de esta sección.

Una vez que se conocen la tasa de producción de la planta (valor *R*), las máquinas por usar y los estándares de tiempo, hay que dividir el tiempo estándar (minutos decimales) entre el valor *R*. El número resultante de máquinas debe expresarse con dos cifras decimales (p. ej., .34 máquinas). Una vez que se han calculado todos los requerimientos de máquinas para cada operación, las necesidades totales de máquinas similares, y se han redondeado los números, se hace la recomendación para la compra de maquinaria suficiente. Los números que se muestran en la figura 4-4 son el resultado de dividir aquéllos de la figura 4-3 entre el valor *R* de .173 (para producir 2,000 cajas de herramientas por turno). Esta información sobre el número de máquinas requeridas se usará después para determinar el número de pies cuadrados de espacio de piso que son necesarios en el departamento de fabricación. En el capítulo 7 se estudian el diseño del lugar de trabajo y la determinación de espacios, basándose en los requerimientos de equipo para fabricación que se describieron antes.

Nombre de la parte	2 *Extremos del cuerpo*	2 *Soportes de la charola*	1 *Cuerpo*	1 *Extremos de la cubierta*	1 *Cuerpo de la cubierta*	1 *Bisagra*	2 *Extremos de la charola*	1 *Cuerpo de la charola*	1 *Asa de la charola*	*Total de máquinas*
Máquinas										
Sierra de cadena	.34*	.24	.23	.30	.18	—	.28	.17	—	1.74
Guillotina	.66	.45	.27	.59	.24	.33	.51	.22	—	3.27
Prensa de golpe	.75	—	.48	.72	.41	—	—	—	—	2.36
Prensa	1.05	.74	.65	1.02	.59	—	.99	.55	—	5.59
Roladora (laminador)	—	—	—	—	—	—	—	—	.83	.83

* .029 ÷ .173 × 2 partes por unidad = .34 máquinas.

Figura 4-4 Hoja de cálculo de requerimientos de máquina.

Para producir 2,000 cajas de herramientas por día se necesitará comprar dos sierras de banda, cuatro guillotinas, tres prensas de golpe, seis prensas y una roladora. El número total de máquinas siempre debe ser redondeado al entero siguiente; de otro modo se creará un cuello de botella y la planta no producirá las 2,000 cajas de herramientas por día, a menos que los empleados trabajen tiempo extra. Si, debido a consideraciones económicas el redondeo hacia arriba no se puede justificar, es posible que deba planear el tiempo extra para estas operaciones, con el fin de alcanzar los requerimientos de producción y aliviar los cuellos de botella. Si la inversión pudiera justificarse y está garantizado el volumen de producción, entonces se recomienda redondear hacia arriba.

TABLA DE CARGAS DE TRABAJO EN LAS CELDAS

Anteriormente, en este capítulo se explicaron las distribuciones orientadas al proceso y orientadas al producto. Para entender mejor el concepto de celda de manufactura se necesita definir el concepto de tecnología de grupo.

La *tecnología de grupo* aprovecha las ventajas de la similitud de las partes o las características en un grupo de partes o familia de éstas, de modo que pueden procesarse como grupo. La tecnología de grupo requiere que los dibujos técnicos incluyan cierto esquema de códigos que especifique el *tipo* y los *parámetros* del procesamiento que son necesarios. El tipo de proceso que especifica el código, puede ser, por ejemplo, una operación de perforación. Los parámetros que se incluyen especificarían las dimensiones del agujero. Aquellas partes con códigos similares, sin que importen los productos finales en que estarán o su destino, entonces pueden agruparse para ser procesadas juntas, con lo que se aprovechan las ventajas de una sola preparación y se minimiza su costo.

Si bien la idea de celdas de manufactura ha existido desde la década de 1920, el uso de la tecnología de grupo les ha agregado un significado especial y ha aumentado su uso. Si el volumen se garantiza, un grupo pequeño de maquinaria y equipo puede disponerse para procesar no sólo varias unidades del mismo producto, sino también una familia de lotes de varios productos diferentes que se haya identificado, mediante la tecnología de grupos, como demandantes de la misma serie de operaciones.

Una *celda de manufactura* es una colección de equipo que se requiere para fabricar una parte aislada o una familia de partes con características similares. Este equipo se coloca en círculo alrededor de un operador u operadores (la figura 4-5 muestra la distribución de una celda de manufactura típica). Luego, el operador (con más frecuencia un operador único) toma una parte del recipiente de entrada y la mueve alrededor del círculo del equipo. Habitualmente el equipo incluye máquinas automáticas que sólo necesitan ser cargadas, activadas y después desactivadas. Una vez que la máquina se carga y activa, el operador mueve la parte recién terminada de la primera máquina a la segunda, en la que el operador retira la parte anterior y carga la siguiente. Este proceso continúa alrededor de la celda: se sacan partes de una máquina y en ésta se colocan partes nuevas, después se activa dicha máquina, y así hasta llegar a la última máquina, en donde se retira la parte, se inspecciona y se coloca en el contenedor de partes terminadas. Las celdas de manufactura se desarrollan a un ritmo muy rápido porque:

1. Reducen el tiempo de arranque en forma significativa.
2. Eliminan todo almacenamiento entre operaciones.

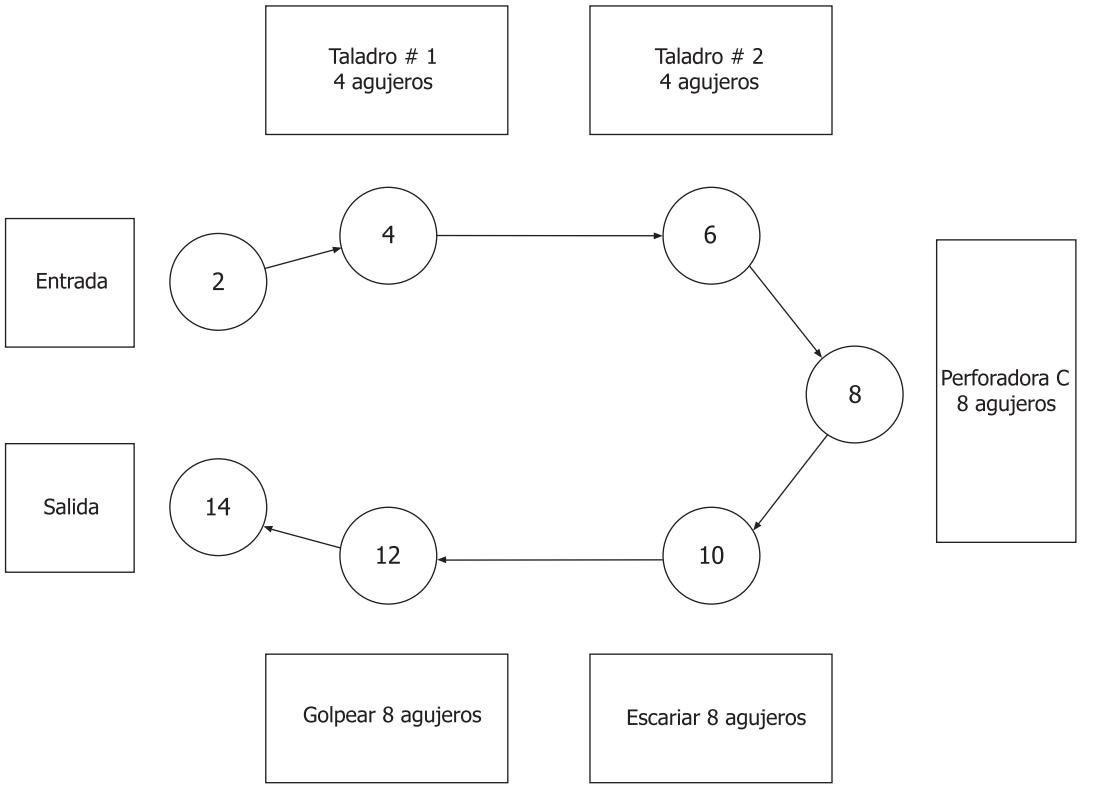


Figura 4-5 Distribución de la celda de manufactura.

3. Eliminan la mayoría de tiempo de movimiento entre operaciones.
4. Terminan con los retrasos por esperar a la máquina siguiente.
5. Reducen los costos.
6. Disminuyen el inventario (disminuciones de trabajos en proceso).
7. Reducen el tiempo de manufacturas en proceso.

Éstos son los objetivos de la manufactura esbelta y una buena descripción del desperdicio eliminador. El concepto de celda de manufactura considera que la utilización del operador es más importante que la de la máquina.

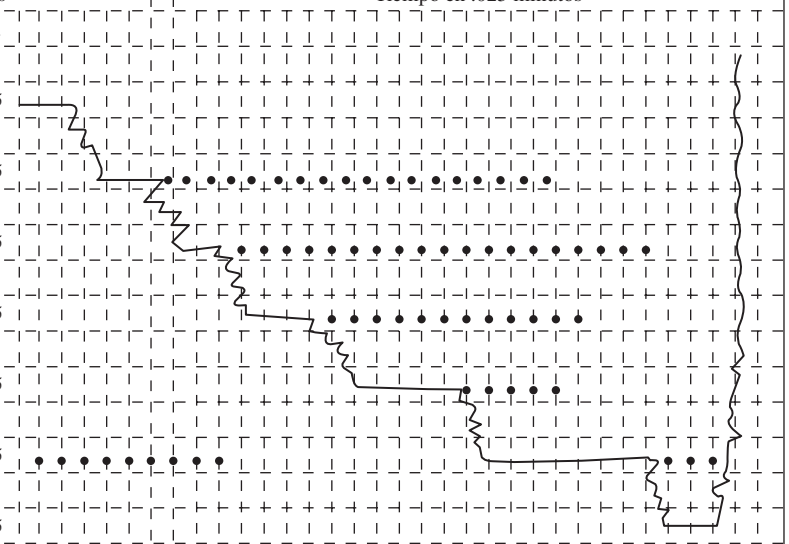
La tabla de cargas de trabajo en la celda de manufactura se diferencia de las técnicas anteriores en que el resultado final no tiene que ser una parte o un producto completo, sino que puede constar sólo de unas cuantas operaciones. Podría terminar con una parte completa; sin embargo, ése no es el objetivo de una celda de manufactura. Por ejemplo, se puede fundir o forjar una parte en cualquier sitio, maquinarla en una celda, cromarla en una tercera área. Una vez que se determina qué es lo que hará la celda, se necesita un estudio de micromovimientos de toda la operación involucrada. Esto se analizó en el capítulo 3.

Las tablas de cargas de trabajo en las celdas de manufactura son gráficos de operaciones especiales que se usan en situaciones de máquinas múltiples (por ejemplo, vea las figuras 4-6 y 4-7). Las tablas enlistan los tiempos del operador, de la máquina y de caminata, que se requieren para hacer que una celda de manufactura produzca una parte por ciclo con el

Número de parte: 1675 **Nombre de la parte: cigueñal** **Fecha: 5/13/XX** **Ingeniero: Justin M.**

Operación Número	Descripción de la operación	Tiempo en .001 minutos Manual	Máquina	Caminata
2	Obtener una parte nueva	54	0	45
4	Taladro #1	49	455	25
6	Taladro #2	55	470	35
8	Contador de perforaciones	75	289	35
10	Escariar	111	115	35
12	Golpear	175	300	25
14	Inspeccionar y apartar	55	0	25
	Total	.574	1.629	225

Tiempo en .025 minutos



Tiempo total del ciclo = .8 minutos + 10% de tolerancia = .88 minutos

Piezas por hora = 68

Horas por pieza = .01467

Figura 4-6 Tabla de carga de trabajo en la celda.

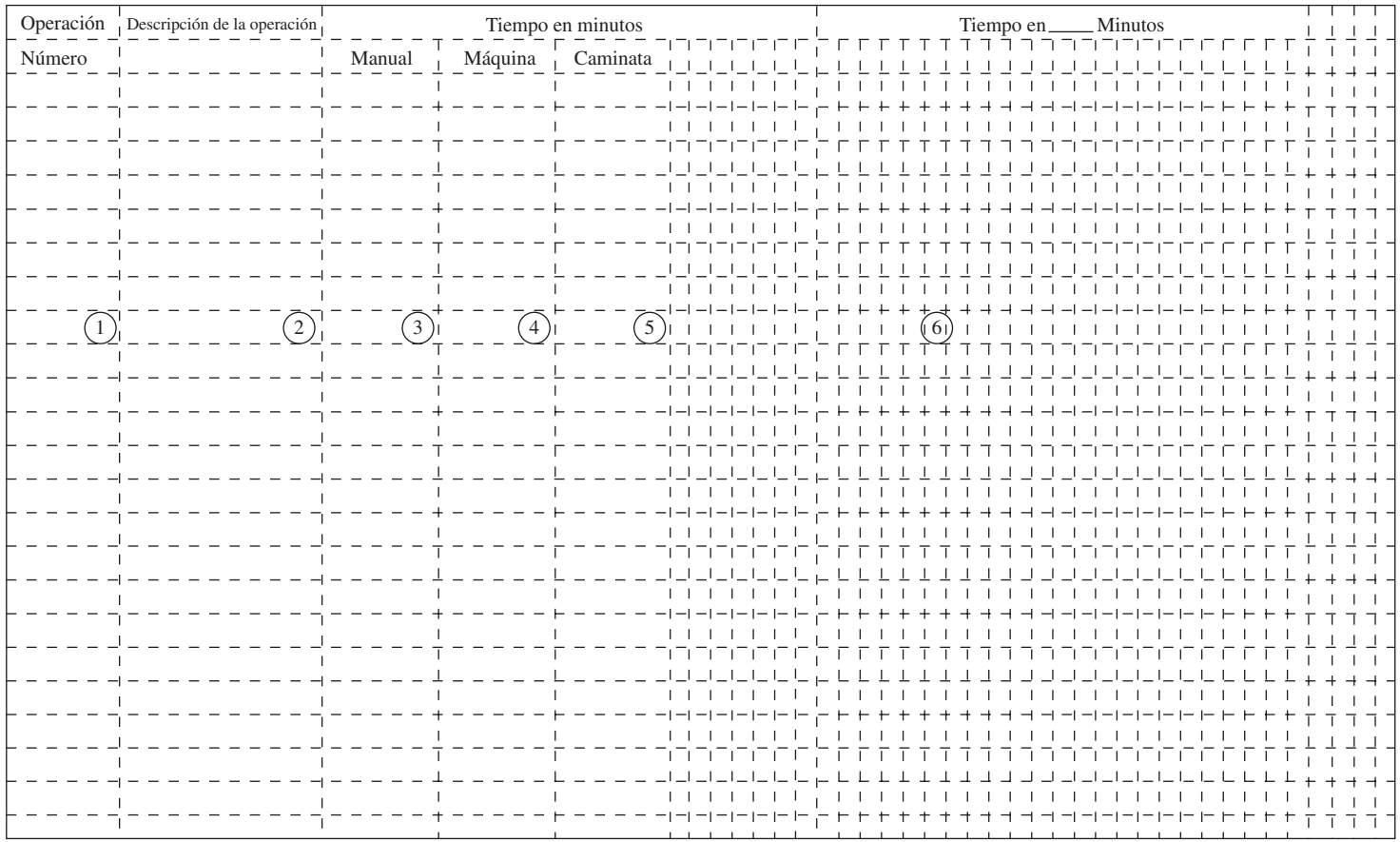


Figura 4-7 Tabla de carga trabajo en la celda: formato paso a paso.

empleo de muchas máquinas. En consecuencia, las tablas de carga de trabajo en celda muestran el tiempo total del ciclo, la utilización del operador y la de la máquina. Debido a que son visuales, las tablas de cargas de trabajo en la celda de manufactura ayudan a que la gente vea los problemas y efectúe mejoras en las operaciones, por medio de la asignación apropiada de tareas a los operadores o las máquinas, entre otras medidas.

Procedimiento paso a paso para preparar una tabla de cargas de trabajo en celda de manufactura

En este análisis, los números encerrados en un círculo corresponden a las categorías que se aprecian en la figura 4-7.

① *Núm. de operación:* éste es tan sólo la secuencia numérica de las etapas. Los procedimientos buenos usan números con espacio suficiente para expandirse, tales como 2, 4, 6, 8 o 5, 10, 15, 20. Esto permitiría la inserción de operaciones nuevas sin tener que renumerar todo.

② *Descripción de la operación:* éste incluye los nombres de las máquinas y las descripciones de la operación que se ejecuta. Debe ser suficientemente descriptiva para comunicar a otras personas lo que se realiza, de modo que puedan seguir la secuencia de operaciones.

Del 3 al 5: Son los estándares de tiempo en minutos decimales. Éstos son los que se desarrollaron mediante las técnicas de estudio de tiempos estudiadas en el capítulo 3.

③ *Manual:* el tiempo que le toma al operador cargar, descargar, inspeccionar y hacer cualquier cosa que se requiera. Este tiempo está por completo bajo control del operador.

④ *Máquina:* una vez que el operador activa la máquina, ésta hace su trabajo en forma automática y el operador pasa a la operación siguiente. Este tiempo de máquina por lo común se calcula con el uso de fórmulas de alimentación y velocidad, analizadas en el capítulo 3. Los tiempos de máquina están fuera del control del operador.

⑤ *Caminata:* el tiempo de caminata es aquel que le toma a un operador moverse de una máquina a la siguiente. Ya se ha determinado que el tiempo estándar para caminar es de .005 minutos por pie, y puede calcularse con facilidad a partir de la distribución de una estación de manufactura. Por ejemplo, a una persona promedio le tomaría .050 minutos moverse 10 pies. Esta estadística se basa en el tiempo estándar básico al caminar a 3 millas por hora, más una tolerancia de 25 por ciento por las obstrucciones y las vueltas.

⑥ *Gráfica de acumulación de tiempo de la operación:* se trata de la "sustancia" del formato. Los datos de tiempo se grafican en la tabla con el uso de tres símbolos estándar:

_____ : Línea continua que representa el tiempo manual o de operador.
_ _ _ _ : Línea punteada, es el tiempo de máquina o automático.
 : Línea en zigzag, se trata del tiempo de caminata a la operación siguiente.

La gráfica resultante muestra de modo visual la carga de trabajo en escala de tiempo y puede usarse para balancear mejor al operador y las máquinas. Asimismo, el tiempo total del ciclo da origen a un tiempo estándar. Con análisis y un poco de imaginación, se logra una mejoría.

ANÁLISIS DEL PROCESO DE ENSAMBLE Y EMPAQUE

Una vez que todas las partes han sido producidas por los departamentos de manufactura o recibidas de los proveedores y están listas para ensamblarse, se necesitan nuevas herramientas analíticas. Subensamble, soldadura, pintura del ensamble final y empaque son operaciones incluidas en esta área de la planta.

La gráfica de ensamble

La *gráfica de ensamble* (figura 4-8) muestra la secuencia de operaciones para juntar las partes del producto. El diseñador de la distribución hará el diagrama del proceso de ensamble con el uso del dibujo de desglose (figura 2-3a) y la lista de partes (figura 2-4), que se ilustran en el capítulo 2. La secuencia de ensamble tiene varias alternativas. Para decidir cuál es la mejor, se requieren los estándares de tiempo. Este proceso se conoce como *balanceo de la línea de ensamble*.

Estándares de tiempo para cada tarea

Las tareas deben ser tan pequeñas como sea posible, de modo que el diseñador de instalaciones tenga la flexibilidad de dar una a varios ensambladores diferentes (vea la figura 4-9). Las técnicas para establecer los estándares de tiempo usados en el diseño de la línea de

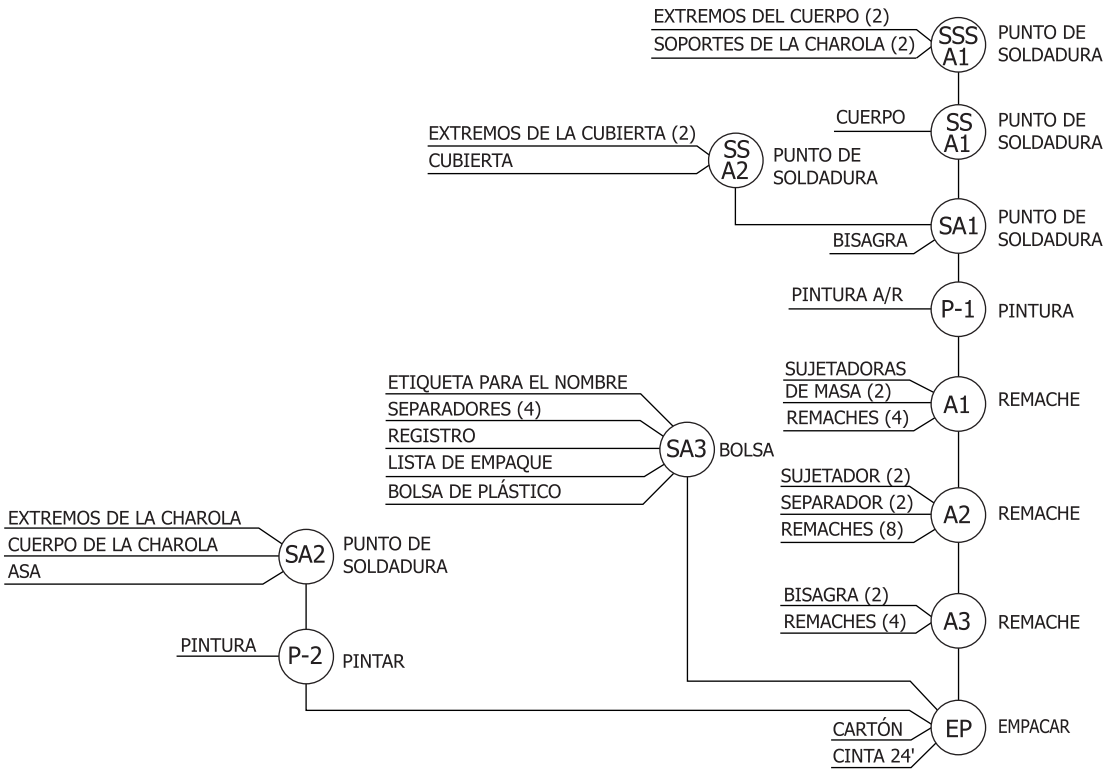


Figura 4-8 Gráfica de ensamble: caja de herramientas.

Núm. de operación	*Descripción de la operación*	*Minutos*
SSSA1	Ensamblar y poner dos puntos de soldadura entre dos soportes de la charola y dos extremos del cuerpo	.153 cada uno
SSA1	Soldar dos extremos del cuerpo al cuerpo	.291
SSA2	Soldar dos extremos de la cubierta al cuerpo de la cubierta	.260
SA1	Soldar la bisagra al cuerpo, soldar la cubierta a la bisagra y colgar un transportador elevado	.356
P1	Limpiar, pintar y hornear	automático
A1	Remachar el asa y dos sujetadores a la cubierta	.310
A2	Remachar dos sujetadores para cubrir los del cuerpo	.555
A3	Remachar dos bisagras al cuerpo y la cubierta	.250
SA2	Soldar los extremos de la charola a ésta y agregar el asa. Colgar en el transportador elevado	.415
P2	Limpiar, pintar y hornear la charola	automático
SA3	Bolsa de partes sueltas	.250
EP	Empacar la charola dentro de la caja de herramientas, colocar bolsa de plástico dentro de la caja de herramientas y cerrar. Formar cartón y empacar la caja de herramientas.	.501

Figura 4-9 Estándares de tiempo del ensamble y el empaque.

ensamble provienen ya sea de un sistema de estándares de tiempo predeterminados o de datos estándar. Si se tuvieran que ensamblar 10 tornillos, se querría contar con un tiempo estándar (minutos decimales) por tornillo, y otro tiempo separado para mover la tuerca hacia abajo y apretarla, porque este proceso da la máxima flexibilidad.

Tasa de producción de la planta y velocidad del transportador

La *velocidad del transportador* depende del número y las unidades que se necesitan por minuto, el tamaño de la unidad, el espacio entre unidades y, a veces, el espacio para engancharlas. La *velocidad del transportador* se registra en pies por minuto. Por tanto, el tamaño de la parte más el espacio entre ellas (medidos en pies), multiplicado por el número de partes que se necesitan en un minuto, es igual a los pies por minuto.

Ejemplo: las parrillas de carbón están en cajas de $30 \times 30 \times 24$ pulgadas de alto. A diario se requieren 2,400 parrillas.

	480	minutos por turno de 8 horas
menos	50	50 minutos programados de tiempo de ocio (recesos, etc.)
	430	minutos disponibles
	80%	de rendimiento previsto
	344	minutos efectivos de trabajo por día
÷	2,400	parrillas por día
=	.143	minutos por parrilla

$$\frac{1 \text{ minuto}}{.143 \text{ minutos por parrilla}} = 7 \text{ parrillas por minuto}$$

El transportador debe correr a 17.5 pies por minuto, o en otro caso la planta no producirá las 2,400 parrillas. Verifique la tasa de producción de la planta:

	7	parrillas por minuto	×	430 minutos por turno
×	80%	de rendimiento	=	2,408 parrillas por turno

Velocidad del transportador de pintura

La velocidad del transportador elevado para pintar se complica en forma adicional debido a las partes múltiples por gancho y el espaciamiento entre éstos.

Ejemplo: Las partes siguientes se pintarán en un sistema de transportador elevado:

Número de parte	*Partes por gancho*	*Cantidad por pintar (por turno)*	*Ganchos necesarios*	*Ganchos por minuto**
15	1	500	500	1.45
263	4	300	75	.22
44	2	1,000	500	1.45
14	8	2,000	250	.73
21	2	100	50	.15
03	1	125	125	.36
				4.36

*Con base en 430 minutos @ 80 por ciento = 344.

Se necesitan en total 4.36 ganchos para pasar cualquier punto en un minuto, si hay una separación de un pie entre un gancho y otro. Por tanto, la velocidad del transportador sería de 4.36 pies por minuto. Si los ganchos estuvieran separados por una distancia de 1-1/2 pies, la velocidad sería de 6.54 pies por minuto (4.36×1.5). La figura 4-10 muestra algunos tipos diferentes de ganchos de pintura.

La velocidad del transportador también determina el tamaño del horno de secado y el de pintura. Digamos que las partes necesitan 400º para secar. Diez minutos a 6.54 pies por minuto son iguales a 65.4 pies de transportador en un horno. La mayoría de hornos llevan las partes hacia dentro y hacia fuera desde el mismo extremo, por lo que éste tendrá una longitud de 33 pies y anchura de 4-1/2 pies.

Si se estudia el ejemplo de la caja de herramientas, se verá que hay que usar espaciamientos de 18 pulgadas entre un gancho y otro debido al tamaño de la parte. ¿Qué partes necesitan pintarse? Sólo el ensamble de caja y el de charola. Cada uno de ellos se coloca en un gancho y se envía a un sistema de espray electrostático; pero primero deben limpiarse y secarse. Después de pintarse se hornearán y enfriarán. El secado necesita 450º durante 10 minutos. Se requieren 15 minutos para que se enfríen antes de que un ensamblador pueda retirarlos de la línea.

	Partes por gancho	*Cantidad por turno*	*Ganchos necesarios*	*Ganchos por minuto**
1. Ensamble de la caja	1	2,000	2,000	5.78
2. Ensamble de la charola	1	2,000	2,000	5.78
				11.56

*Con base en una tasa de proceso o valor *R*, de .173 o 5.78 por minuto.

Cada minuto se requieren 11.56 ganchos, y cada uno de éstos se encuentra separado 18 pulgadas (1-1/2 pies de los adyacentes), de modo que 11.56 por 1.5 es igual a 17.34 pies por minuto, que es la velocidad del transportador.

Se necesitan 10 minutos de tiempo de secado y horneado, con lo que la multiplicación de 17.34 pies por minuto por 10 minutos es igual a 173 pies para secar y pintar. Hay que usar un secador de doble cubierta y longitud de 90 pies, con el secado en la parte superior (la más caliente) y el horneado en la inferior. El tiempo de enfriamiento de 15 minutos multiplicado por 17.34 pies por minuto, significa una longitud de 263 pies desde el horneado hasta el primer ensamblador.

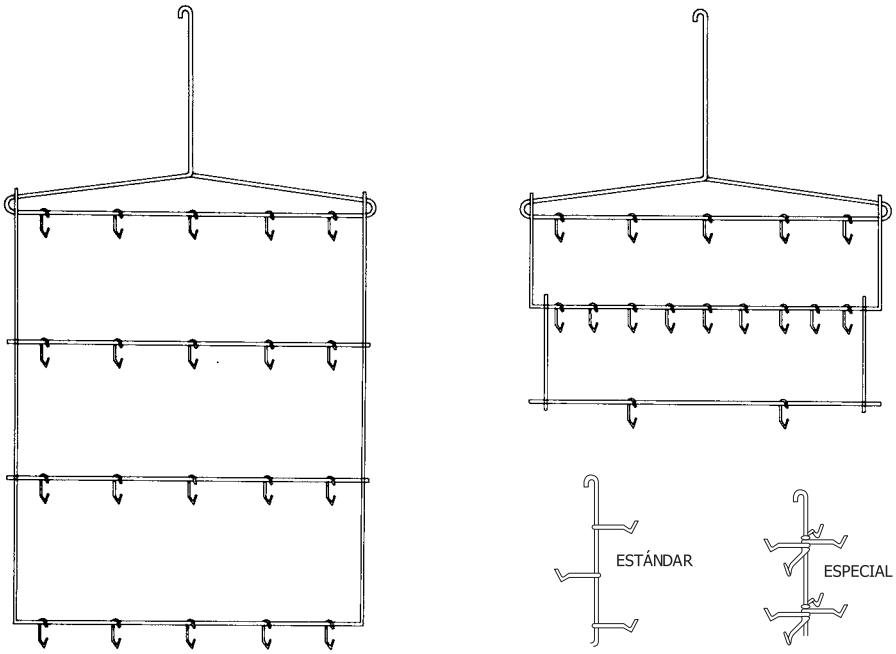


Figura 4-10 Ganchos de pintura.

Como por arte de magia, los datos para la distribución comienzan a reunirse. En realidad no es magia lo que proporciona las respuestas, sino un enfoque sistemático.

Cuando las cajas de herramientas se sacan de la línea superior de montaje, después de pintar para colocar el remache en el asa, una vez terminadas se colocan en un transportador plano. La velocidad de éste necesita ser de 5.78 cajas por minuto por el espaciamiento. Debido a que la caja de herramientas tiene 18 pulgadas de largo, un espaciamiento adecuado debiera ser de 24 pulgadas entre un centro y otro. Dos pies por caja, multiplicado por 5.78 cajas por minuto, es igual a 11.56 pies por minuto. La charola permanecerá en el gancho hasta que llegue a la estación de empaque. Las charolas y las cajas estarán alternadas en los ganchos.

Aunque ahora hay información suficiente para hacer la distribución del área de limpieza, pintura y horneado, esperaremos hasta el capítulo 7, en el que se calcularán los requerimientos de espacio para la producción.

Balanceo de la línea de ensamble

Los propósitos de la técnica de balanceo de la línea de ensamble son los siguientes:

1. Igualar la carga de trabajo de los ensambladores.
2. Identificar la operación que constituya el cuello de botella.
3. Establecer la velocidad de la línea de ensamble.
4. Determinar el número de estaciones de manufactura.
5. Calcular el costo de la mano de obra de ensamblado y empaque.
6. Establecer la carga de trabajo porcentual de cada operador.

7. Auxiliar en la distribución de la planta.
8. Reducir el costo de producción.

La técnica de balanceo de la línea de ensamble construye sobre la gráfica de ensamble (figura 4-8) los estándares de tiempo (figura 4-9), y la tasa de producción de la planta (tasa del proceso, o valor *R*) se calcula en la última sección.

El objetivo del balanceo de la línea de ensamble es dar a cada operador una cantidad de trabajo lo más parecida posible. Esto puede lograrse sólo con el desglose de las tareas en los movimientos básicos que se requieren para hacer cada pieza de trabajo y reensamblar las tareas en labores con casi el mismo valor en cuanto a tiempo. La estación (o estaciones) con el requerimiento más grande de tiempo se denota como la *estación del 100 por ciento*, y limita la salida de la línea de ensamble. Si los ingenieros industriales quieren mejorar la línea (reducir costos), se concentran en dicha estación. Si en el ejemplo anterior se redujera la estación del 100 por ciento por debajo del uno por ciento, se ahorraría el equivalente de .25 personas, es decir, un factor de 25 a 1.

La figura 4-1 muestra un ejemplo de problema de línea de ensamble para la producción de cajas de herramientas.

La pieza SA3 podría retirarse de la línea de ensamble y tratarse por fuera para ahorrar dinero. Dado el tiempo estándar de .250 minutos para la SA3, una de éstas podría ensamblarse en .0047 horas, o 240 SA3 por hora, si la operación se realizara en un modo por lote. Sin embargo, en el modo de línea de ensamble, las operaciones bajan su velocidad hasta la tasa de la actividad más lenta; así, la tasa de producción de la SA3 se abate a sólo 180 piezas por hora, o .00557 horas por unidad.

	.0057	costo balanceado
−	.00417	costo individual
	.00140	ahorros en horas por unidad
×	500,000	unidades por año
	700	horas por año
@	$15.00	por hora
=	$10,500.00	ahorros por año

Esto se denomina *costo del balanceo*. En este caso es demasiado alto.

	Tiempo estándar	*Número de estaciones*	*Redondeado*	*Tiempo promedio*	*Porcentaje cargado*	*Horas por unidad*	*Piezas por hora*
SSSA1	.306	1.77	2	.153	92	.00557	180
SSA1	.291	1.68	2	.146	87	.00557	180
SSA2	.260	1.50	2	.130	78	.00557	180
SA1	.356	2.06	3	.119	71	.00835	120
A1	.310	1.79	2	.155	93	.00557	180
A2	.555	3.20	4	.139	83	.01113	90
A3	.250	1.44	2	.125	75	.00557	180
SA2	.415	2.40	3	.138	83	.00835	120
SA3	.250	1.44	2	.125	75	.00557	180
ED	.501	2.90	3	.167	100	.00835	120
Total	3.494		25			.06960	

Figura 4-11 Balanceo inicial de la línea de ensamble.

Los subensambles que podrían retirarse de la línea deben ser los siguientes:

1. Los que tienen carga deficiente. Entre más pequeño es el porcentaje cargado, más deseable es subensamblar. Por ejemplo, una carga de 60 por ciento en el balanceo de la línea de ensamble indicaría que se pierde 40 por ciento del tiempo. Si este trabajo se retirara de la línea (sin afectar a los demás operadores), podría ahorrarse 40 por ciento del costo.
2. Partes pequeñas que se guardan y almacenan con facilidad.
3. Elementos que se mueven sin dificultad. El costo de transporte e inventario se elevaría, pero debido a la mejor utilización de la mano de obra, el costo total debe descender.

En el formato del balanceo de la línea de ensamble, un subensamble se vería como lo siguiente:

Núm. de pregunta	*Tiempo estándar*	*Núm. de estaciones*	*Redondeado*	*Tiempo promedio*	*Porcentaje cargado*	*Horas por unidad*	*Unidades por hora*
SA3	.250	1.44	1.44	2.50	Sub	.00417	240

Observe de nuevo la figura 4-11 y la parte SA3. Se ha ahorrado mucho, pero, ¿podría hacerse lo mismo con la SA1? No, porque es una parte más grande que no es fácil guardar, almacenar o mover.

El balanceo de la línea de ensamble de la figura 4-11 no es bueno debido a los bajos porcentajes de cargas. Es posible una mejora (mire la estación del 100 por ciento). Si se agregara un cuarto empacador, se eliminaría la estación del 100 por ciento en el empacado (EP). Ahora la nueva estación del 100 por ciento (cuello de botella) es la A1 (93 por ciento). Si se agregara a esta persona, se ahorraría el 7 por ciento de 25 personas, es decir 1.75 individuos, y se incrementaría la carga porcentual de cada uno en la línea (excepto en EP). Ahora podrían combinarse A1 y A2, y reducir aún más el 100 por ciento. La mejor respuesta para un problema de balanceo de la línea de ensamble es el número total más bajo de horas por unidad. Si se agregara una persona adicional, su tiempo estaría en las horas totales. Trate de mejorar el balanceo de la línea de ensamble de la caja de herramientas, después vea cómo afecta eso a las líneas que aparecen en las figuras 4-12 y 4-13.

Notas acerca del balanceo de la línea de ensamble (figura 4-11):

1. La estación de manufactura más ocupada es EP. Tiene .167 minutos de trabajo por hacer por empacador. La siguiente estación más cercana es A1, con .155 minutos de trabajo. Tan pronto como se identifique la estación de manufactura más ocupada, se le denomina estación del 100 por ciento, y se comunica que este tiempo estándar es el único que se usará en esta línea de ahí en adelante. Las otras estaciones se limitan a 360 piezas por hora. Aun cuando otras estaciones de manufactura pudieran laborar más de prisa, la estación del 100 por ciento limita la salida de la línea de ensamble en su conjunto.
2. El total de horas requerido para ensamblar una caja de herramientas terminada es de .06960 horas. La tasa horaria promedio multiplicada por .06960 horas por unidad, da el costo de la mano de obra de ensamblado y empaque. Otra vez, entre más bajo sea este costo, mejor es el balanceo de la línea.

El balanceo de la línea es una herramienta importante para muchos aspectos de la ingeniería industrial, y uno de los más importantes en donde se utiliza es en la distribución de la línea de ensamble. El reverso del formato de balanceo de la línea está diseñado para albergar un esquema de distribución de ella. Se invita al lector a que observe los ejemplos de las figuras 4-12 y 4-13.

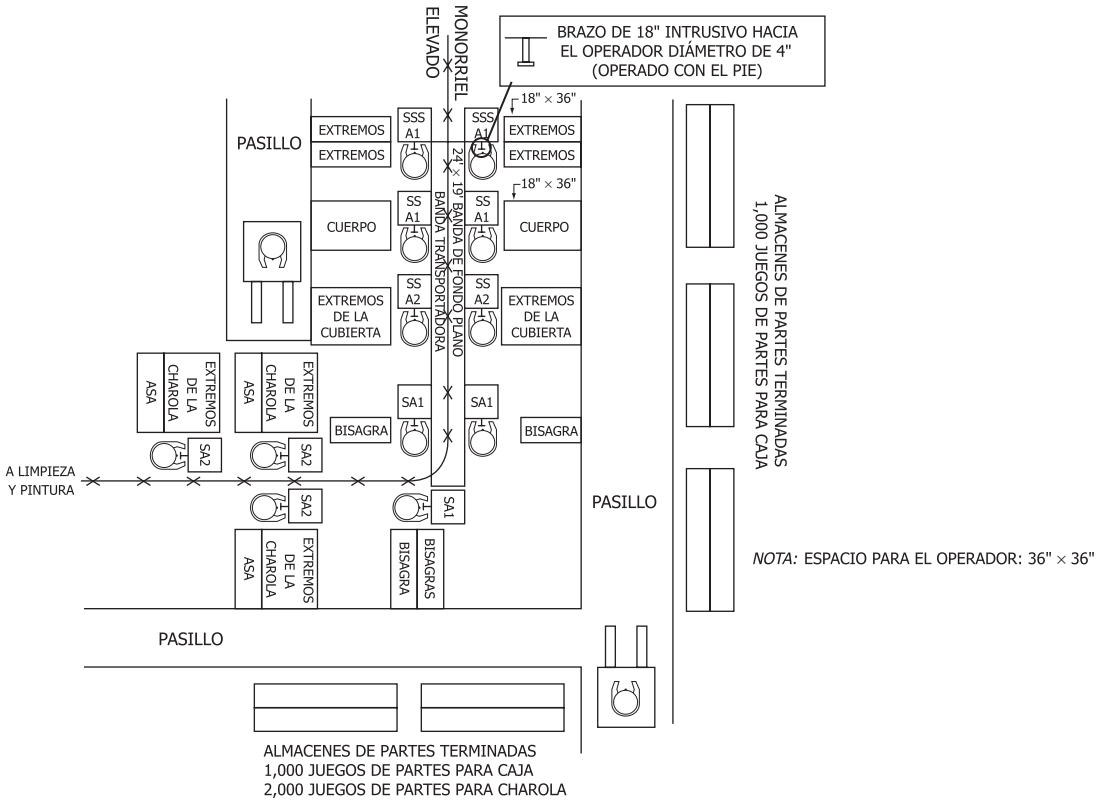


Figura 4-12 Subensamble del punto de soldadura.

El trabajo de empaque se considera trabajo de ensamble toda vez que está involucrado el balanceo de la línea de ensamble. Muchos otros trabajos pueden realizarse en la línea o cerca de ella, pero se consideran subensambles y no están balanceados en forma directa con ésta porque los subensambles pueden almacenarse en pilas. Sus estándares de tiempo existen por mérito propio.

PROCEDIMIENTO PASO A PASO PARA ELABORAR EL FORMATO DE BALANCEO DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE

El formato de balanceo de la línea de ensamble que se muestra en la figura 4-14 incluye las categorías siguientes:

1. *Núm. de producto:* dibujo del producto o número de parte del producto.
2. *Fecha:* fecha completa de desarrollo de esta solución.
3. *Elaboró:* nombre del ingeniero que hace el balanceo de la línea de ensamble.
4. *Descripción del producto:* nombre del producto que se ensambla.

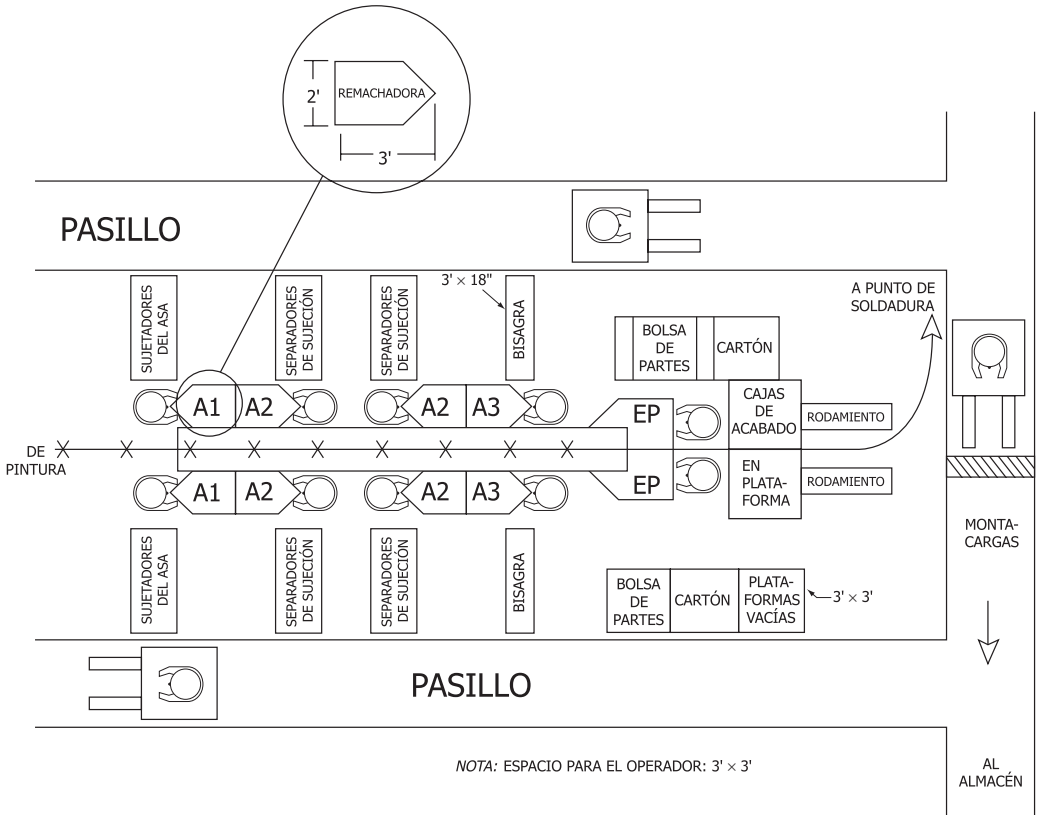


Figura 4-13 Ensamble y línea de EP.

⑤ *Número de unidades requeridas por turno:* cantidad de producción que se necesita por cada turno; el departamento de ventas debe darlo al ingeniero. El objetivo de éste es llegar tan cerca de esta cantidad como sea posible, sin quedar por debajo.

⑥ *Tiempo del proceso:* la tasa de producción de la planta o la tasa de proceso se estudió antes en este capítulo, pero este bloque está diseñado para una planta específica con la experiencia del pasado que se menciona a continuación:

a. Los productos existentes han operado con una eficiencia de 85 por ciento.
b. La eficiencia de los productos nuevos es, en promedio, de 70 por ciento durante el primer año.
c. A cada estándar se agregan tolerancias de 11 por ciento. El valor *R* en esta planta se calcula con la división de 300 o 365 minutos entre el número de unidades por turno (etapa 5). El resultado es la tasa de producción de la planta o tasa de proceso, valor *R*.

⑦ *Núm.:* cifra secuencial de la operación. Los números de operación proporcionan un método sencillo y útil para hacer referencia a un trabajo específico.

⑧ *Operación/Descripción:* unas cuantas palabras bien escogidas comunican lo que se hace en la estación de manufactura. Las palabras clave son los nombres de las partes y funciones del trabajo. Los ejemplos al final de este capítulo son buenas guías.

Fred Meyers & Associates **Balanceo de la línea de ensamble**

Núm. de producto: ①
Fecha: ②
Elaboró: ③

Descripción del producto: ④

Número de unidades requeridas por turno: ⑤

Tiempo del proceso ⑥ Producto existente $= \frac{365 \text{ minutos}}{\text{Unidades req. por turno}} = R$

Cálculos Producto nuevo $= \frac{300 \text{ minutos}}{\text{Unidades req. por turno}} = R$

Núm.	Descripción de la operación	Tiempo del proceso	Ciclo de Tiempo	Núm. de Estaciones	Ciclo de Tiempo Promedio	% de carga	Horas/1000 Balanceo de la línea	Porcentaje de horas balanceo de línea
⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮

Figura 4-14 Formato paso a paso del balanceo de la línea de ensamble.

⑨ *Tiempo del proceso:* el tiempo del proceso calculado en el bloque ⑥, se encuentra tras toda operación. La tasa de producción de la planta o tasa de proceso es el objetivo de cada estación de manufactura y al escribir el tiempo del proceso en cada renglón se mantiene claramente centrado dicho objetivo.

⑩ *Ciclo de tiempo:* tiempo estándar fijado al combinar elementos de trabajo en labores. El objetivo es el tiempo del proceso, pero ese número específico rara vez se alcanza. El ciclo de tiempo puede cambiarse si se mueve un elemento de trabajo de un trabajo a otro; sin embargo, los elementos de trabajo son una proporción grande en la mayoría de los casos. Equipo más rápido o métodos más inteligentes podrían reducir el ciclo de tiempo, y ésta es una buena herramienta de reducción de costos que se estudiará posteriormente.

⑪ *Núm. de estaciones:* se calcula con la división del tiempo del proceso entre el ciclo de tiempo ⑩, y el resultado se redondea. Si el número de estaciones se redondeara hacia abajo, el objetivo (número de unidades por turno ⑤ no se alcanzaría. La administración puede redondear hacia abajo el número de estaciones de manufactura por razones de costo, pero si lo hace sabe que el objetivo no se logrará sin trabajar tiempo extra, entre otras cosas. Sin embargo, ésa

es decisión de la administración, no del ingeniero. Si el número de estaciones de manufactura se redondea hacia abajo, la estación de manufactura será el cuello de botella, la restricción, la estación más lenta o la estación del 100 por ciento.

⑫ *Ciclo de tiempo promedio:* se calcula con la división del ciclo de tiempo ⑩ entre el número de estaciones de manufactura ⑪. Es la velocidad con la que esta estación de manufactura produce partes. Si el ciclo de tiempo de un trabajo es de un minuto, y se requieren cuatro máquinas, el ciclo de tiempo promedio es de .250 minutos (1.000 entre 4 es .250), es decir, que una parte saldría de estas cuatro máquinas cada .250 minutos. El mejor balance sería que todas las estaciones tuvieran el mismo ciclo promedio, pero esto nunca ocurre. Un objetivo más realista es trabajar para acercarse lo más posible. El ciclo de tiempo promedio se usará para determinar la carga de trabajo porcentual de cada estación de manufactura, que es la etapa siguiente.

⑬ *% de carga:* la carga porcentual dice qué tanta ocupación tiene cada estación de manufactura en comparación con la más ocupada. El número más grande en la columna ⑫ del ciclo promedio de tiempo es la estación de manufactura más ocupada y, por tanto, se denomina estación del 100 por ciento (en la columna de carga porcentual se escribe 100 por ciento). Ahora todas las demás estaciones se comparan con esta estación del 100 por ciento mediante la división del tiempo promedio de la estación del 100 por ciento entre los tiempos promedio de todas las demás estaciones y el resultado se multiplica por 100. Este resultado es igual a la carga porcentual de cada estación. La carga porcentual es una indicación de dónde se necesita más trabajo o dónde serían más fructíferos los esfuerzos para reducir costos. Si la estación del 100 por ciento puede reducirse en uno por ciento, entonces, se habrá ahorrado uno por ciento para todas las estaciones de manufactura de la línea.

Ejemplo: para calcular la carga porcentual, vuelva a mirar el ejemplo de la figura 4-11 de este capítulo. Los ciclos de tiempo promedio fueron .153, .146, .130, .119, .155, .139, .125, .138, .125, y .167. Al revisarlos se descubre que el número más grande es .167, y se designa a esa estación como la del 100 por ciento. Una buena práctica es encerrar en un círculo el .167 y el 100 por ciento para recordar que ésta es la estación de manufactura más importante de la línea, y ningún otro tiempo estándar tiene significado. Ahora que se ha determinado la estación del 100 por ciento, se calcula la carga porcentual de todas las demás estaciones de manufactura con la división de .167 entre los demás ciclos de tiempo promedio, así:

Operación SSSA1 = .153 entre .167 = 92 por ciento
SSA1 = .146 entre .167 = 87 por ciento
SSA2 = .130 entre .167 = 78 por ciento
y así sucesivamente.

¿Dónde pondría el supervisor a la persona más rápida? En la operación de EP, naturalmente. ¿En dónde buscaría el ingeniero industrial una mejoría o reducción del costo? En la operación de EP, la estación cargada al 100 por ciento.

Las figuras 4-15, 4-16 y 4-17 son formatos en blanco para que los use si los necesita.

Hoja de ruta

Nombre de la parte: _____ Número de la parte: _____

Número de la operación	Operación	Máquina	Número de la máquina	Estándar mínimo	Tasa de la línea	Máquinas	Piezas/Hora	Hora/Piezas
5								
10								
15								
20								
25								
30								
35								
40								
45								
50								

Figura 4-15 Hoja de ruta: formato en blanco.

Balanceo de la línea de ensamble					Fecha:				Página de páginas	
Núm. de partes requeridas/Día-turno: _____		Rendimiento histórico de la planta: _____%			Tiempo de ocio: _____		Tiempo del proceso = _____		Horas/1,000/ persona:_____	
Núm.	Descripción de la operación	Tiempo del proceso	Ciclo del tiempo	Núm. de estaciones	Ciclo de tiempo promedio	% de carga	Horas por 1,000	Piezas por hora	Horas/1,000 Balanceo de la línea	Piezas/Hora Balanceo de la línea

Figura 4-16 Balanceo de la línea de ensamble: formato en blanco.

Hoja de cálculo de equipo de fabricación

Parte núm. / Máquinas																		Máquinas requeridas	Núm. total de máquinas
Guillotina: formar																			
Guillotina: dibujar																			
Guillotina: aristas																			
Espray solvente desengrasador en polvo																			
Pistola perforadora																			
Jabón alcalino/ agua en espray																			
Secadoras																			
Tubo doblador																			
Máquina dobladora																			
Arco helicoidal																			
Molde de inyección																			
Prensa perforadora doble																			
Sierra de abrasión																			
Casetas de pintado																			
Hornos																			

Figura 4-17 Hoja de cálculo de equipo de fabricación: formato en blanco.

Un balance adecuado haría que todas las estaciones de manufactura estuvieran en el rango de 90 a 100 por ciento. Una estación por debajo del 90 por ciento puede utilizarse para el ausentismo. Una persona nueva podría estar en ella sin retrasar a toda la línea.

⑭ *Horas/1,000 balanceo de la línea:* las horas por unidad producida pueden calcularse con más facilidad con la división del ciclo de tiempo del 100 por ciento (encerrado en un círculo en el balanceo de la línea) entre 60 minutos por hora:

$$\frac{.167 \text{ minutos por unidad}}{60 \text{ minutos por hora}} = .00278 \text{ horas por unidad}$$

El tiempo estándar de .167 es para una persona, por tanto, si en una operación se requirieran dos personas, serían necesarias $2 \times .00278$ horas por unidad.

Dos personas = .00557 horas por unidad
Tres personas = .00835 horas por unidad
Cuatro personas = .01113 horas por unidad

Asimismo, como verificación de la calidad, si se multiplica el número de operadores en la línea de ensamble por .00278 horas por unidad, se obtiene el total de horas necesarias para fabricar una unidad. En el problema de la caja de herramientas se requerirían .06958 ($25 \times .0027833 = .06958$) horas de mano de obra para ensamblar cada caja. Otro elemento lógico es que todos en una línea de ensamble deben trabajar a la misma tasa. En otras palabras, la persona con la menor cantidad de trabajo por hacer no puede hacer más que el operador siguiente.

⑮ *Pzas./Hr. balanceo de la línea:* las piezas por hora son el resultado de $1/x$ de horas por unidad, o dividir las horas por pieza entre uno. En la figura 4-11 observe que todas las estaciones producen 360 piezas. La estación A1 tiene dos operadores, cada uno de los cuales produce 180 piezas por hora, para un total de 360 piezas por hora.

⑯ *Total de horas por unidad:* para obtener las horas por unidad, hay que sumar las horas de todas las operaciones. Las horas por unidad para un operador por el número total de operadores en la línea, también es igual al total de horas por unidad. El total de la columna 11 es el total de operadores.

⑰ *Tasa del salario promedio por hora:* este dato provendría del departamento de nómina, pero, por ejemplo, se puede suponer que el salario promedio es de $15 por hora.

⑱ *Costo de la mano de obra por unidad:* en el ejemplo, .06960 horas por $15.00 por hora = $1.044 por costo unitario de la mano de obra. Entre más bajo sea el costo, mejor es el balanceo de la línea.

⑲ *Total del ciclo de tiempo:* el total de ciclo de tiempo dice el contenido exacto de trabajo que hay en ensamble en conjunto, y si se le da el mismo tratamiento que a cualquier otro tiempo estándar; muestra lo que sería un balanceo de línea perfecto.

En el ejemplo, 3.494 minutos divididos entre 60 minutos por hora son iguales a .05823 horas por unidad. El balanceo de la línea resultó ser de .06960 o 01137 horas más. Estas .01137 horas son la reducción potencial del costo, y lo que no puede eliminarse a través de la reducción de costo se denomina costo del balanceo de la línea.

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE

La eficiencia de una línea de ensamble se determina de varias maneras. El costo por unidad de la mano de obra directa se calcula con facilidad a partir de las dos últimas columnas de la tabla de balanceo de la línea. La última columna de la figura 4-14 muestra el número total de piezas o unidades que se producen en la línea por *persona-hora*. El inverso de dicha cifra son las personas-hora que se requieren por pieza. Por tanto, al multiplicar este número por los salarios por hora, se obtiene el costo de la mano de obra directa por unidad. Conforme se intenta balancear más la línea, cualquier incremento o disminución de este costo es una clara indicación de qué tanto éxito se tiene en la mejoría de la línea.

También se puede calcular la eficiencia numérica o porcentual de la línea con el uso ya sea de las columnas de las horas por 1,000 o de la columna del ciclo de tiempo. La figura 4-16 muestra los cálculos para las horas por 1,000 y las horas por 1,000 líneas. La columna de las horas por 1,000 usa el ciclo de tiempo como si fuera una operación única. Es decir, el operador no se ve afectado por el flujo de la línea. La columna de las horas por 1,000 líneas utiliza el ciclo de tiempo ajustado según se determina por medio de la estación del 100 por ciento. La suma de la primera columna nos dice cuántas unidades se podrían ensamblar si cada etapa pudiera desempeñarse a un ciclo de tiempo estándar. La segunda columna muestra cuál es la producción real, ya que no todas las estaciones se desempeñan a su capacidad máxima. Hay que recordar que una línea de ensamble o cualquier serie de operaciones sólo puede operar tan rápido como el miembro *más lento* del equipo.

$$\text{Eficiencia de la línea} = \frac{\text{suma de las horas por 1,000}}{\text{suma de las horas por 1,000 balanceos de línea}} \times 100$$

En forma similar, la eficiencia de la línea puede calcularse como sigue. El ciclo de tiempo promedio para la estación del 100 por ciento es la velocidad más alta a la que puede trabajar cualquier operador en esta línea. Este tiempo, multiplicado por el número total de operadores en la línea, es el ciclo de tiempo total por unidad. ¿Por qué? Esta cifra dividida entre el ciclo de tiempo total ⑲ de la figura 4.14 arrojará la eficiencia de la línea:

$$\text{Eficiencia de la línea} = \frac{\text{suma de ⑲ ciclo de tiempo}}{\text{total de ciclo de tiempo}} \times 100$$

Ambos métodos de cálculo llevarán a la misma respuesta. Una vez más, cualquier cambio en la línea se refleja en la eficiencia de ésta.

Es frecuente que la administración iguale la suma de estaciones de manufactura u operadores, con un incremento en el costo de la mano de obra por unidad. Los cálculos anteriores, en especial aquellos que tienen que ver con el costo por unidad, demuestran con claridad que agregar trabajadores a la línea en virtud del aumento de la eficiencia de ésta, con frecuencia disminuye el costo por unidad.

Uso de la simulación en computadora

La simulación y modelado en computadora son herramientas poderosas para diseñar celdas de manufactura y auxiliar en el balanceo de líneas y cargas de celdas de manufactura.

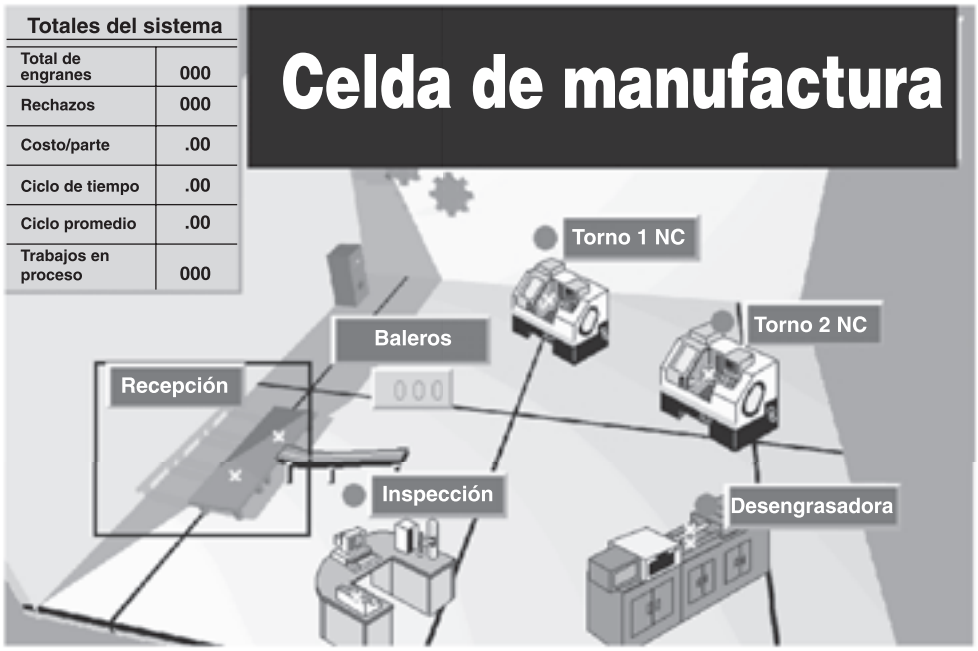


Figura 4-18 Simulación de celda de manufactura (cortesía de ProModel Corporation).

Existen varios paquetes de software que permiten que el usuario diseñe una instalación completa o parte de ella, tal como una celda de manufactura. Entonces, se puede simular el funcionamiento de la celda en condiciones distintas para examinar escenarios diversos. Las figuras 4.18 a 4-21 muestran una celda de manufactura que se diseñó por medio del paquete de simulación en computadora ProModel. En el capítulo 5 se estudiará con más detalle el uso de la simulación y el software para ello. La celda se preparó con el empleo de iconos disponibles en el paquete. El operador toma las decisiones acerca de la selección y el arreglo del equipo, así como la cantidad de recursos, es decir, el número de equipo y operadores. Esta celda se diseñó para la producción de engranes. Los parámetros del sistema, tales como el tiempo de máquina, el ciclo de tiempo, las distancias por caminar, etcétera, se obtienen del mismo modo que las obtendría el planeador de las instalaciones en cualesquiera condiciones, y se introducen en la corrida de simulación. Una vez que los datos se hayan capturado, el diseñador tendrá la oportunidad de probar distintos escenarios a fin de optimizar la celda.

Como se ve en la figura 4-18, esta celda consiste en un área de recepción, dos tornos NC, una estación desengrasadora y un área de inspección. El propósito de este ejemplo es determinar el número de trabajadores que minimizaría el costo por unidad de producción en la celda.

Se llevaron a cabo tres corridas de simulación. La primera sólo utilizó un operador, como se muestra en la figura 4-19. La segunda y la tercera corridas emplearon dos y tres operadores, respectivamente, como se ilustra en las figuras 4-20 y 4-21. Cada simulación se corrió por un total de 10 horas de tiempo real de producción. La simulación produce estadísticas

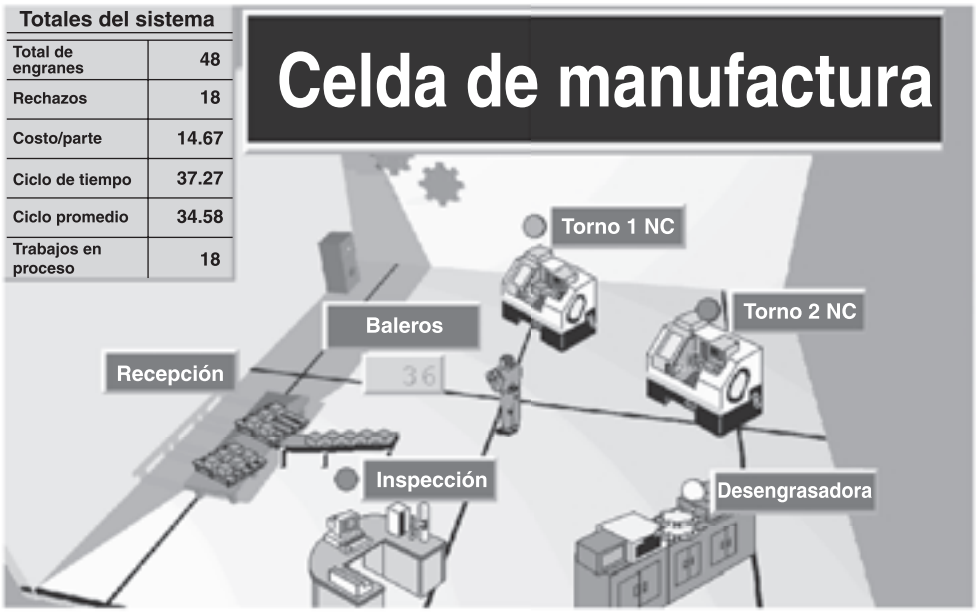


Figura 4-19 Estado simulado de la celda de manufactura con el empleo de un operador después de un periodo de tiempo establecido (cortesía de ProModel Corporation).

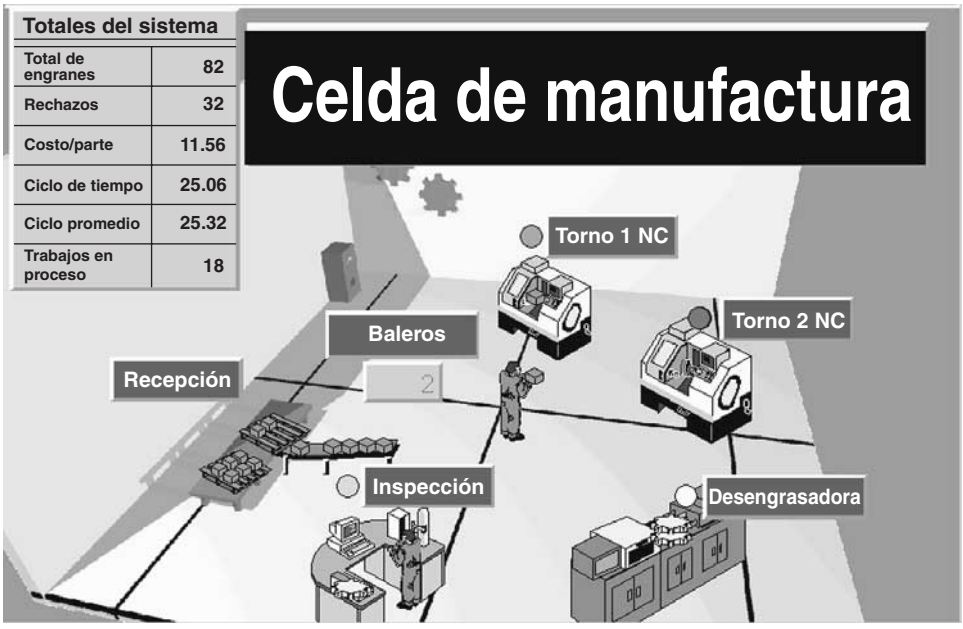


Figura 4-20 Estado simulado de la celda de manufactura con el uso de tres operadores, una vez transcurrido el mismo tiempo (cortesía de ProModel Corporation).

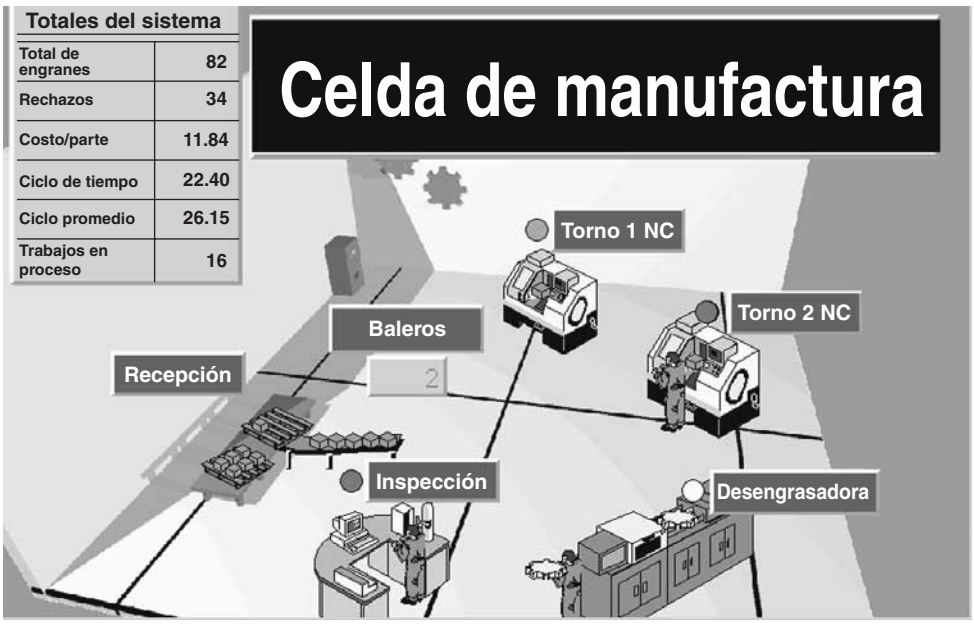


Figura 4-21 Estado simulado de la celda de manufactura con el uso de tres operadores, una vez transcurrido el mismo tiempo (cortesía de ProModel Corporation).

detalladas relacionadas con el volumen de producción, el uso de la maquinaria, el equipo y el tiempo ocioso del operador, y variedades de datos útiles. Algunas de estas estadísticas y reportes se presentarán en el capítulo 15. En las figuras 4-19 a 4-21 se da el resumen de datos de cada corrida. Los datos estadísticos de la figura 4-19 muestran que si se usa un solo operador en la celda durante la corrida de producción de10 horas, se producen 48 engranes. El ciclo de tiempo promedio fue de aproximadamente 34.58 minutos por parte, y el costo por unidad se estimó en $14.67. Si el número de operadores aumenta a dos, durante el mismo periodo de tiempo transcurrido, se procesan 82 engranes con un ciclo de tiempo promedio de 25.32 minutos por unidad. El costo de producción se reduce a $11.56 por engrane (vea la figura 4-20). No parece haber beneficio si se incrementa a tres el número de trabajadores. Como se aprecia en la figura 4-21, aunque el ciclo de tiempo promedio no cambia en forma significativa, el costo por unidad se incrementa en aproximadamente $.28 por unidad, presumiblemente, debido al aumento del costo de la mano de obra directa. Además, la producción total es la misma, lo que indica que se alcanzó la capacidad de la maquinaria. Esta simulación sencilla permite al ingeniero de procesos determinar que el número óptimo de operadores para esta celda es de dos. Por supuesto, también pueden ensayarse otros escenarios que modifiquen el número y el tipo de equipo.

ORIENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN

Las dos orientaciones básicas de la distribución son la producción en masa y el trabajo en el taller. La *producción en masa* está orientada al producto y sigue una trayectoria fija a través de la planta. La línea de ensamble ilustra mejor la orientación a la producción en masa. Ésta es preferible a la orientación al trabajo en el taller, porque el costo unitario es menor, pero no todos los productos siguen una trayectoria fija.

La distribución orientada al *trabajo en el taller* es guiada por el proceso (se elabora alrededor de centros de maquinaria). Por lo general, los departamentos de fabricación siguen este camino debido a que las trayectorias de las partes no son consistentes. Esto se denomina *flujo de trayectoria variable.*

Como la producción en masa es preferible al trabajo en el taller, se han desarrollado varias técnicas nuevas para llevar esta última orientación más cerca de la producción en masa:

1. La tecnología de grupo trata de clasificar las partes en grupos con secuencias de proceso similares. Después, el equipo se coloca en línea recta o como celda de manufactura siguiendo una ruta fija. La planta podría tener una línea de lámina metálica, línea de plásticos, línea de barras, línea de fundición, etcétera. El objetivo es reducir el tránsito, los retrocesos y la distancia de viaje.
2. Una celda de manufactura es un grupo de máquinas que se dedican a fabricar una parte complicada. Uno o dos operadores pueden manejar de seis a 10 máquinas. Éstas permanecen preparadas en forma indefinida para hacer dicha parte. Algunas de ellas tal vez no se utilicen por completo, pero el tiempo perdido se compensa con la menor cantidad de inventario que se requiere, menos manejo de materiales y el tiempo de recorrido inferior (el tiempo que una parte pasa en el proceso de producción).

La mayoría de plantas usan la orientación al taller de trabajo para los fines de fabricación, y se orientan a la producción en masa para las líneas de ensamble y empaque. La tecnología de grupo y las celdas de manufactura se crean conforme surgen las oportunidades.

En el capítulo siguiente se estudiarán las técnicas de análisis de flujo para optimizar las distribuciones de las áreas de fabricación y ensamble.

PREGUNTAS

1. ¿Qué es diseño del proceso?
2. ¿Cuáles son las dos categorías del diseño del proceso?
3. ¿Qué es una hoja de ruta?
4. ¿Qué información se incluye en una hoja de ruta?
5. ¿Qué es lo que determina cuántas máquinas hay que comprar?
6. ¿Cuál tiempo estándar (minutos decimales, piezas por hora u horas por unidad) se compara con el tiempo del proceso?
7. ¿Qué es una tabla de ensamble?
8. ¿Qué información se necesita para calcular la velocidad de un transportador de ensamble?
9. ¿Qué información adicional se requiere para calcular la velocidad de un transportador de pintado?
10. ¿Cuáles son los ocho propósitos del balanceo de una línea de ensamble?

11. Vuelva a balancear la figura 4-11 por medio de agregar una cuarta persona que empaque y saque a SA3 como subensamble. Después responda las preguntas siguientes:
   a. ¿Cuál es el total de horas por unidad?
   b. ¿Cuántas unidades por turno se fabricarán con el 100 por ciento?
   c. ¿Cuántas personas se utilizan ahora?
   d. ¿Cuál es la nueva estación del 100 por ciento?
   e. ¿Éste es un balance mejor?
   f. ¿Cuánto dinero se ahorra si se producen 700,000 unidades por año y se paga a los empleados $10.00 por hora?

12. ¿Cuáles son las dos principales orientaciones de la distribución?

13. Balancee la línea de ensamble siguiente para que produzca 1,500 unidades por turno de ocho horas, con el 85 por ciento y 30 minutos de tiempo personal:

Número de operación	*Tiempo estándar*
1	.390
2	.235
3	.700
4	1.000
5	.240
6	.490

14. Calcule la eficiencia de la línea en la pregunta 13.

15. Explique cómo puede reducirse el costo por unidad si se agrega personal a una línea.

16. Defina y compare las distribuciones orientada al proceso y orientada al producto.

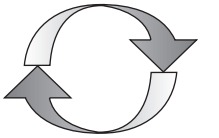
17. Defina *tecnología de grupo* y explique cómo se implanta.

18. Explique el concepto de celda de manufactura.

19. Balancee la línea siguiente, con un tiempo del proceso dado, o valor *R*, de .452 minutos. ¿Cuál es la eficiencia de la línea?

Número de operación	*Tiempo estándar*
1	.455
2	.813
3	.233
4	.081
5	.945

PROYECTO EN LA PRÁCTICA



En este capítulo se estudiaron los procedimientos de diseño del proceso y las herramientas para ello, entre las que se encuentran las hojas de ruta, hojas de cálculo de requerimientos de maquinaria, distribuciones de celdas de manufactura, tablas de carga de trabajo en celda de manufactura, tablas de ensamble, formatos para balancear líneas de ensamble, etcétera.

Cada parte que se fabrique (manufacture) requiere una hora de ruta completa. Para elaborarlas, el departamento de ingeniería industrial proporciona datos de estudio de tiempos, inclusive tiempos estándar para las operaciones. Los ingenieros de manufactura y procesos proporcionan datos relacionados con procesos específicos y tipos de equipo requeridos. Las hojas de cálculo de requerimientos de maquinaria resumen las necesidades de equipo de fabricación.

Con objeto de maximizar la eficiencia y lograr el tiempo del proceso, o valor *R*, que se necesita, las líneas de ensamble se identifican y balancean con la ayuda de la tabla de ensamble.

Las figuras que siguen ilustran el uso de las herramientas mencionadas para el proyecto *Shade Tree Grill*.

Hojas de ruta

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo						
STG11	Eje	DBJ11					Fecha:	2/8/XX
							Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
5	Cortar	Sierra grande 800	B800	.165	.256	363.64	.00275	2.75

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo						
STG5	Pernos de tubo	DBJ5					Fecha:	2/8/XX
							Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
75	Moldeado	NISSEI NS60	NS60	.0625	.097	960.000	.00104	1.042
65	Recortar	Cortadores ergonómicos	ERGCT	.0730	.113	821.918	.00122	1.217

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo						
STG6	Ext. de las patas	DBJ6					Fecha:	2/8/XX
							Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
75	Moldeado	NISSEI NS60	NS60	.125	.194	480.000	.00208	2.083
65	Recortar	Cortadores ergonómicos	ERGCT	.042	.065	1428.571	.00070	.700

Hojas de ruta

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo					Fecha:	2/8/XX
STG8	Abrazadera superior	DBJ8					Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
15	Cortar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
20	Estampar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
25	Doblar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
45	Pintar	IR800	IR800	60	93.023	1.000	1.00000	1000.000

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo					Fecha:	2/8/XX
STG9	Abrazadera inferior	DBJ9					Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
15	Cortar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
20	Estampar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
25	Doblar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
10	Perforar	E2	E2	.246	.381	243.902	.00410	4.100
45	Pintar	IR800	IR800	60	93.023	1.000	1.00000	1000.000

Hojas de ruta

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo					Fecha:	2/8/XX
STG7	Fajillas de madera	DBJ7					Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
5	Cortar	Sierra grande 800	B800	.165	.256	363.636	.00275	2.750
10	Perforar	E2	E2	.123	.191	487.805	.00205	2.050
40	Arrojar arena	Lanzador de arena Ryobi	RBS	.167	.259	359.281	.00278	2.783

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo					Fecha:	2/8/XX
STG10	Sostén del tanque	DBJ10					Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
15	Cortar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
20	Estampar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
25	Doblar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
10	Perforar	E2	E2	.246	.381	243.902	.00410	4.100

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo					Fecha:	2/8/XX
STG13	Perilla	DBJ13					Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
75	Moldear	NISSEI NS60	NS60	.125	.194	480.000	.00208	2.083
65	Recortar	Cortadores ergonómicos	ERGCT	.060	.093	1000.000	.00100	1.000

Hojas de ruta

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo						
STG4	Patas	DBJ4					Fecha:	2/8/XX
							Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
5	Cortar	Sierra grande 800	B800	.033	.051	1818.182	.00055	.550
10	Perforar	E2	E2	.123	.191	487.805	.00205	2.050
25	Doblar	Jutec 850	JTC850	.167	.259	359.281	.00278	2.783
35	Lijar	Lijadora portátil	IR525	.125	.194	480.000	.00208	2.083
30	Soldar	Resistencia Lincoln	LR560	.500	.775	120.000	.00833	8.333
45	Pintar	IR800	IR800	60	93.023	1.000	1.00000	1000.000

Núm. de parte	Nombre de la parte	Núm. de dibujo						
STG12	Panel de control	DBJ12					Fecha:	2/8/XX
							Aprobado por:	EDF
Núm. de op.	Des. de la operación	Núm. de máquina	Máquina	Ciclo de tiempo	Fracción de equipo	Piezas/Hora	Hora/Pieza	Hora/1,000
15	Cortar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.051	1818.182	.00055	.550
20	Estampar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.099	.153	606.061	.00165	1.650
25	Doblar	MINSTER 300 Ton	MNS300	.033	.153	606.061	.00165	1.650
35	Lijar	Handheld Grinder	IR525	.125	.194	480.000	.00208	2.083
45	Pintar	IR800	IR800	60	93.023	1.000	1.00000	1000.000

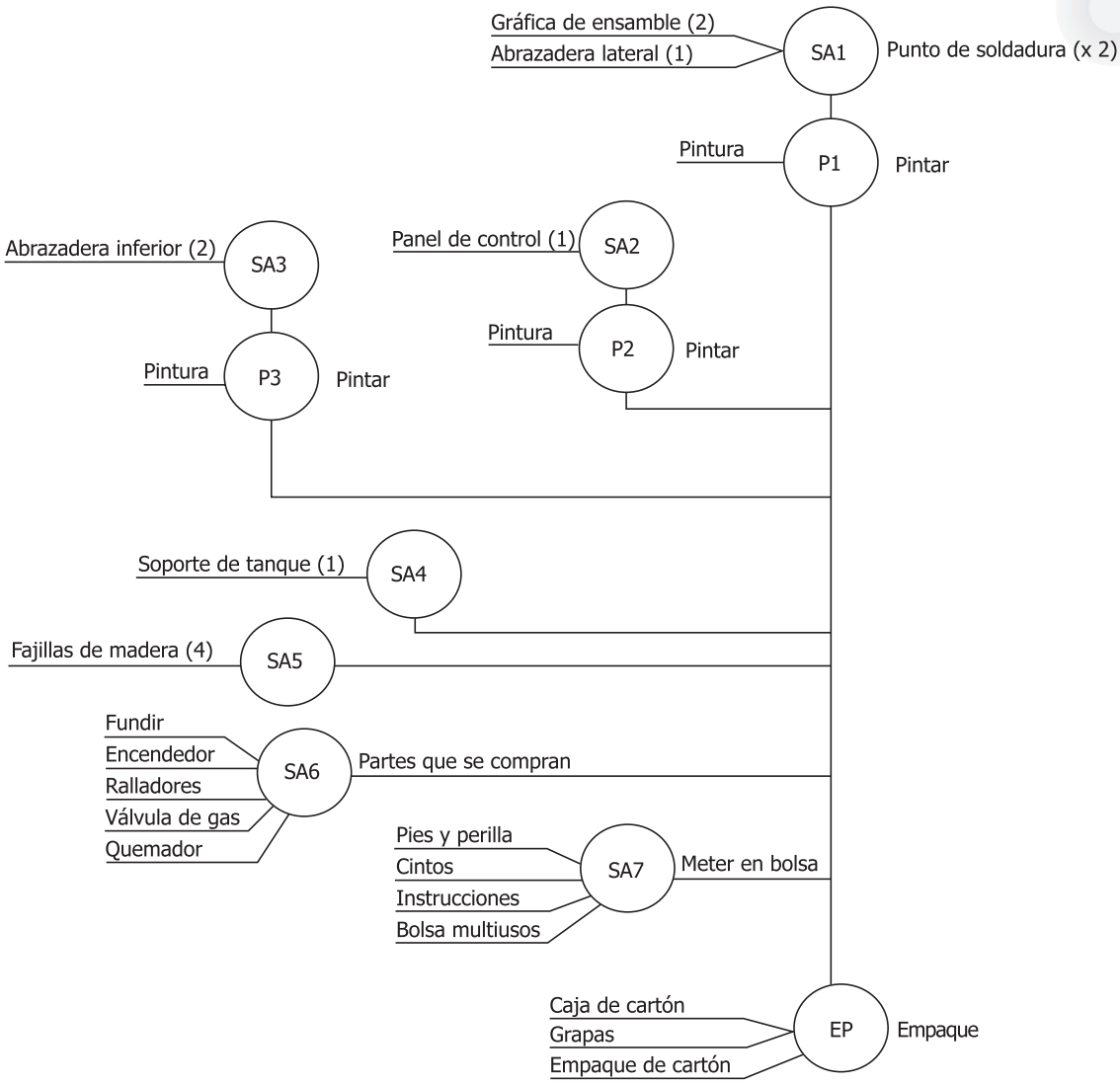
Hoja de cálculo de la fracción de equipo

Partes/ Nombre del equipo	Patas STG4	Pernos de tubo STG5	Ext. de patas STG6	Fajillas de madera STG7	Abrazadera superior STG8	Abrazadera inferior STG9	Sostén del tanque STG10	Eje STG11	Panel de control STG12	Perilla STG13	Totales	Totales redondeados
Sierra para madera	–	–	–	.256	–	–	–	–	–	–	.256	1
Sierra para metal	.051	–	–	–	–	–	–	.256	–	–	.307	1
Cortar	–	–	–	–	.051	.051	.051	–	.051	–	.204	1
Moldear	–	–	–	–	.051	.051	.051	–	.153	–	.306	1
Doblar	.259	–	–	–	.051	.051	.051	–	.153	–	.565	1
Lijar	.194	–	–	–	–	–	–	–	.194	–	.388	1
Lanzar arena	–	–	–	.259	–	–	–	–	–	–	.259	1
Pintar	93.020	–	–	–	93.023	93.023	–	–	93.023	–	372.092	373
Recortar	–	.113	.065	–	–	–	–	–	–	.093	.271	1
Moldear	–	.097	.194	–	–	–	–	–	–	.194	.485	1
Perforar	.191	–	–	.191	–	.246	.381	–	–	–	1.009	1
Soldar	.775	–	–	–	–	–	–	–	–	–	.775	1

Equipo utilizado

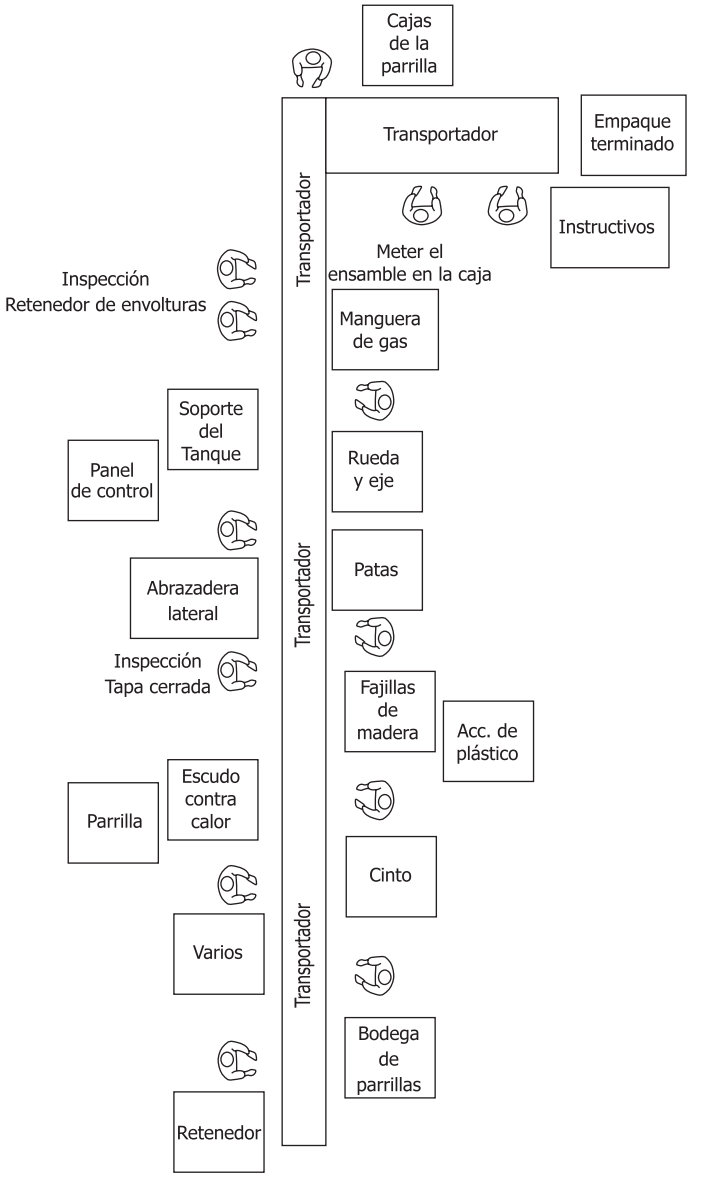
Cantidad	Nombre del equipo	Operación	Núm. de máquina	Núm. de operación
1	Sierra grande 800	Cortar madera	B800	5
1	Sierra grande 800	Cortar acero	B800	5
1	MINSTER 300 ton	Cortar, moldear	MNS300	15, 20
1	IR800	Pintar (en caseta)	IR800	45
3	Lijadora portátil IR525	Lijar	IR525	35
10	Cortadores ergonómicos	Recortar plástico	ERGCT	65
1	Jutec 850	Doblar	JTC850	25
1	NISSEI NS60	Moldear por inyección	NS60	75
2	E2	Perforar	E2	10
1	Lanzador de arena Ryobi	Lanzar arena	RBS	40
1	BPS2	Hacer vacío (hacer bolsas)	J69	80

Gráfica de ensamble



Shade Tree Grills

Distribución de la línea de empaque



Shade Tree Grills

Eficiencia del balanceo de la línea del departamento de empaque

Operación	Descripción de la operación	Ciclo de tiempo	Línea de tiempo	Núm. de estad.	Núm. de estad.	Ciclo de tiempo promedio	% de carga	Piezas/ Hora	Horas/ 1,000
1	Colocar el retenedor sobre el transportador/parrilla sobre el retenedor	.327	.335	.507	1	.327	97.6	179.100	5.58333
2	Poner varios y chimenea en la parrilla	.304	.335	.471	1	.304	90.7	179.100	5.58333
3	Instalar accesorios	.293	.335	.454	1	.293	87.5	179.100	5.58333
4	Inspección visual, después cerrar la tapa	.275	.335	.426	1	.275	82.1	179.100	5.58333
5	Instalar patas alrededor de la parrilla	.221	.335	.343	1	.221	66.0	179.100	5.58333
6	Insertar panel de control/abrazadera lateral y control del tanque	.334	.335	.518	1	.334	99.7	179.100	5.58333
7	Instalar patas alrededor de la parrilla	.234	.335	.363	1	.234	69.9	179.100	5.58333
8	Insertar ruedas y eje/manguera de gas	.430	.670	.667	2	.215	64.2	89.552	11.16670
9	Poner cinta en caja y colocar en el transportador	.335	.335	.519	1	.335	100.0	179.100	5.58333
10	Introducir ensamble de parrilla en caja, meter instructivos, sellar la caja, escribir la fecha y colocar en la plataforma	.608	.670	.943	2	.304	90.7	89.552	11.16670

Totales 3.3614.020

Notas: funcionarán dos líneas de empaque por turno. El tiempo del proceso es de .0645 minutos, con una eficiencia de la línea de 83.6 por ciento.

CAPÍTULO

5

Técnicas de análisis de flujo

El *análisis de flujo* es el corazón de la distribución de la planta y el comienzo del plan de manejo de materiales. El flujo de una parte es la trayectoria que ésta sigue mientras se mueve a través de la planta. El análisis de flujo no sólo considera la trayectoria que cada parte sigue por la planta, sino también trata de minimizar: **1.** la distancia que viaja (medida en pies), **2.** los retrocesos, **3.** el tráfico cruzado, y **4.** el costo de la producción.

El análisis de flujo auxiliará al diseñador de instalaciones de manufactura en la selección del arreglo más eficaz de las máquinas, las instalaciones, las estaciones de manufactura y los departamentos. Se dice que si se mejora el flujo del producto automáticamente aumentará la rentabilidad. Puede mejorarse el flujo si se desarrollan clases o familias de productos o partes (partes con etapas de proceso similares) y se implanta el concepto de tecnología de grupo. Puede intentarse que cada parte tome una trayectoria similar y todas se muevan en forma automática. El flujo de partes y, por tanto, las distribuciones de la planta diferirán en gran medida con los dos tipos básicos de orientación de la distribución de las instalaciones: la orientada al proceso y la orientada al producto. Las distribuciones orientadas al producto tendrán menos de todo (lo que es parte de la definición de manufactura esbelta) en comparación con las orientadas al proceso, pero un gran número de partes o productos diferentes con etapas de proceso variables pueden dictar una distribución orientada al proceso. En la sección siguiente se estudian las herramientas y las técnicas del análisis de flujo apropiadas para una distribución orientada al proceso.

Tiene igual importancia considerar y analizar los patrones y las trayectorias de tráfico que los empleados siguen a través de la instalación en el curso del día. Por ejemplo, la mayoría de los trabajadores manejan hacia el trabajo, estacionan sus carros, ingresan por la entrada para empleados, registran su entrada en sus tarjetas, pasan a sus casilleros (*lockers*), van a la cafetería y después llegan a su estación de manufactura. Hay que usar este flujo para situar las instalaciones de servicio de manera conveniente para los empleados. En el curso del día, los trabajadores quizá también tengan que dejar su estación de manufactura para caminar al cuarto de herramientas, usar los sanitarios o tomar un refresco o agua de algún garrafón. Al diseñar el patrón de flujo, tener en mente que el tiempo que caminan los trabajadores es improductivo quizá le ayude a centrarse en la importancia del análisis de flujo.

Un principio fundamental de la manufactura esbelta es la distribución orientada al producto. Ésta establece las bases para el rendimiento elevado y tiene muchas ventajas, en comparación con las distribuciones de flujo orientadas al proceso que se planean alrededor de un grupo de equipos similares. En la lista siguiente se observarán las ventajas del flujo orientado al producto y se reflexionará en torno a las celdas y las líneas de ensamblado:

1. Hay coordinación simplificada y programación de la producción, primeras llegadas-primeras salidas, y nada se hace a un lado (no hay trabajos en proceso).
2. Los usuarios y los fabricantes de las partes pueden verse y hablar entre sí, con lo que detectan y resuelven los problemas con más rapidez.
3. Hay menos inventario de trabajos en proceso. Un fabricante de artículos para golf tenía seis meses de inventario en proceso cuando tenía una distribución orientada al proceso. Cambió a una orientada al producto y redujo dicho inventario a menos de dos días.
4. Esta distribución elimina el manejo excesivo de materiales. Las celdas de manufactura combinan varias máquinas en una distribución en forma de U alrededor de un operador, y una parte se mueve por el círculo hasta que se completa. Con la forma antigua se tendrían tinas de partes moviéndose de una máquina a otra.
5. Los problemas de calidad son más fáciles de identificar y corregir porque hay muy pocas partes en el sistema.
6. Pueden estandarizarse el flujo del material y la labor del operador (escribirse como práctica estándar), como la manera de hacer el trabajo, lo que puede ser usado como plan de capacitación para los empleados nuevos.
7. Por todas las razones anteriores, se requiere menos espacio de piso.
8. Esta distribución proporciona los fundamentos para la mejora continua, que es otro requerimiento básico de la manufactura esbelta.

La lista siguiente resume las diferencias entre el flujo del material en una distribución orientada al proceso y otra orientada al producto:

1. El flujo del material será mucho más suave en los planes de flujo orientados al producto, pero el material viaja de acuerdo con la secuencia de operaciones que se especifica en la hoja de ruta.
2. Será mucho más corta la distancia que debe viajar el material a través del proceso de producción.
3. Hay menos confusión acerca de qué secuencia de proceso usar, o cuándo y dónde debe transferirse el material terminado.
4. Una preocupación con la distribución orientada al producto es la restricción de la capacidad de máquina. En lugar de usar una máquina rápida, flexible y cara que pueda producir muchas partes diferentes, se adquieren máquinas más baratas que se usan sólo para manufacturar una parte.

Una vez que se compra una máquina sofisticada y cara, se convierte en un obstáculo para convertirla a productos diferentes y cambiar a una distribución orientada al producto. Es frecuente que los equipos sofisticados sean un compromiso para las características. La máquina puede ejecutar muchas funciones, pero ninguna lo hará tan bien como una máquina con propósito especial. El flujo del producto con etapas múltiples brinda la oportunidad de regresar al equipo más sencillo y menos costoso que realizará tareas especializadas. Las

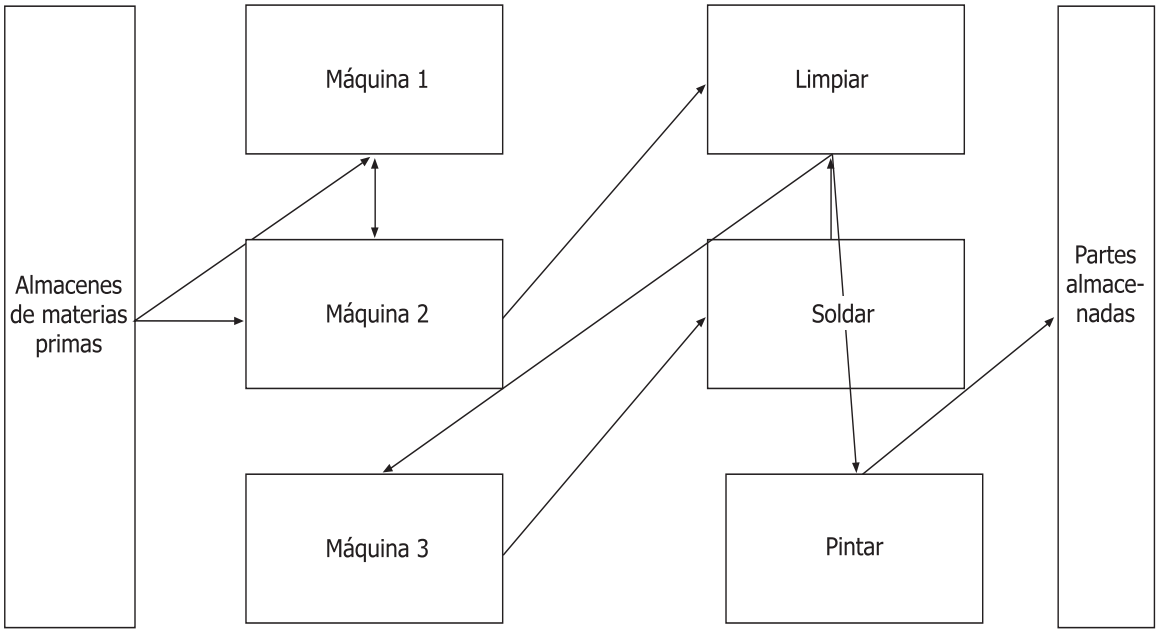


Figura 5-1a Distribución del flujo del proceso.

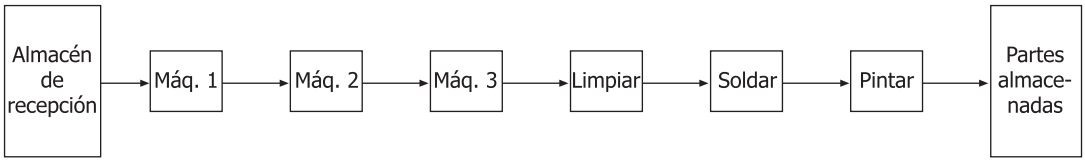


Figura 5-1b Distribución del flujo del producto.

herramientas como el balanceo de la producción, *kanban*, desarrollo de celdas de manufactura, participación del empleado y calidad mejoran mucho si se trabaja con una distribución orientada al producto.

Las plantas existentes lograrán mejoras si cambian al diseño de instalaciones para el flujo del producto. El primer paso es identificar en una distribución la trayectoria del flujo existente (llamada *diagrama del flujo*) de los productos que fabrica la compañía (vea las figuras 5-1a y 5-1b, 5-13 y 5-14). En algunas plantas esto no es tan fácil. Trabajos diferentes requieren máquinas distintas, de modo que los trabajos siguen varias trayectorias por la planta. Siempre hay algunas buenas trayectorias del flujo del producto, las cuales deben identificarse con cuidado. En muchas plantas, las prensas y sus operadores están en un lugar, mientras que las sierras y quienes las operan se encuentran en otro. Las figuras 5-1a, 5-1b y 5-14 muestran como se vería el flujo en una distribución como la descrita.

Donde los productos están más estandarizados (son similares) es mucho más fácil identificar las trayectorias del flujo. Muchas plantas tal vez hayan comenzado con un flujo eficiente de sus productos, pero perdieron esta virtud debido a la expansión y el crecimiento. Las máquinas y el personal están ubicados y organizados sin considerar al flujo del producto. En algunos casos, es importante mejorar las operaciones sin mover al personal y el equipo. Por ejemplo, los equipos tal vez se encuentren en el lugar equivocado, pero moverlos sería demasiado costoso. Las plantas pequeñas quizá también toleren la organización que tienen porque la operación es muy compacta, las distancias de transporte son cortas y los operadores pueden verse y hablar unos con otros. Esta distribución supone que pueden lograrse muchas eficiencias mediante la agrupación de todas las operaciones de prensado con un supervisor a cargo, la reunión de todas las de maquinado con otro supervisor al mando y, así sucesivamente, con todas las operaciones. Sin embargo, esto no es bueno para el flujo del producto. Se espera que todos los trabajadores se capaciten en la ejecución de una sola operación y la lleven a cabo con gran eficiencia. Sin embargo, las pérdidas debidas al flujo deficiente, al manejo excesivo del material y los grandes requerimientos del inventario, hacen que las distribuciones orientadas al proceso sean muy caras. Es frecuente que la programación y el movimiento del material a través de las operaciones de proceso se vuelvan complejos. No es raro que se detecte una parte dada que recorre varias veces toda la fábrica en su camino por las operaciones que requiere. Una compañía manufacturera de herramientas de mano formó muchas familias diferentes de artículos, tales como enchufes para focos (*sockets*), jaladeras, destornilladores, y otros más. La planta estaba dispuesta según el orden del proceso, con lo que todas las herramientas pasaban por la mayoría de departamentos. El socket promedio de 3/8 de pulgada viajaba 6,000 pies en el proceso de su manufactura (a través de 22 operaciones). Se propuso e implantó una distribución orientada al producto con la que dicha parte recorría 300 pies. No se necesita mucha imaginación para saber cuál distribución era más económica.

En la distribución orientada al producto (figura 5-1b), las máquinas se mueven y agrupan de acuerdo con las familias de partes o productos. El flujo de la producción se simplifica en gran medida. Para funcionar en forma apropiada, los operadores dentro de una celda de manufactura se capacitan en todas las operaciones que se realizan en ésta, lo cual aumenta la flexibilidad para responder a lotes especiales dentro de la celda y tiene influencia directa en la calidad del producto, debido a que los trabajadores observan el efecto total de las operaciones e identifican con rapidez la causa raíz de cualesquiera problemas generados dentro de su celda de manufactura.

Un fabricante de plataformas de carga para trailer estableció una planta con 17 celdas. Las operaciones de subensamblado podían llevarse tan adelante como ocho camiones, pero la línea principal de producción (13 celdas) estaba conectada a un transportador en el que se usaba un sistema de empuje. Un sistema de empuje es aquel que tiene una parte terminada en cada posición (celda), la siguiente operación la toma cuando es necesario y la celda vuelve a trabajar en el procesamiento de otra parte. Una celda balanceada en forma apropiada terminará la unidad siguiente momentos antes de que sea requerida. Las técnicas de análisis de flujo auxiliarán al diseñador de instalaciones de manufactura a elegir el mejor arreglo de máquinas, estaciones de manufactura, servicios para empleados, servicios de apoyo y departamentos. Hay tres grupos de herramientas para analizar el flujo, técnicas para (1) fabricación de partes individuales; (2) flujo total de la planta, y (3) flujo de personas e información, que serán estudiadas en el capítulo siguiente y en el 12, acerca de la distribución de oficinas.

FABRICACIÓN DE PARTES INDIVIDUALES

Estas técnicas se usan sobre todo en las distribuciones orientadas al proceso. El estudio del flujo de partes individuales da por resultado el arreglo de máquinas y estaciones de manufactura. La fuente principal de información son las hojas de ruta. Para establecer este mejor arreglo del equipo, los diseñadores de instalaciones usan cuatro técnicas.

1. Diagrama de cuerdas.
2. Tabla de proceso de columnas múltiples.
3. Tabla de origen-destino.
4. Tabla de proceso.

Quizás no utilice siempre todas las técnicas, pero usar más de una es una buena práctica. Para mostrar cómo funcionan, considere un grupo pequeño de partes (vea la figura 5-2) con las rutas (flujo) siguientes. Estas rutas de flujo se considerarán inflexibles, de modo que se debe disponer (o no disponer) de las estaciones de manufactura. Se necesitan 2,000 unidades por día de todas las partes, y éstas pesan .5, 9, 5, 15 y 3.75 libras, respectivamente. Cada máquina se identifica con una letra (R, A, B, C, D, E, F y S). La R es la ubicación de la entrada de material (llamada recepción), y la S es el extremo de envío de la línea. Con algo de creatividad, las máquinas se dispondrían primero en orden alfabético y después se revisaría su eficiencia.

Diagrama de cuerdas

En un *diagrama de cuerdas* los círculos representan el equipo y las líneas que los unen indican flujo (vea las figuras 5-3 y 5-4). Las líneas de flujo entre círculos adyacentes van de la mitad de un círculo a la mitad del otro. Si se salta un departamento, se colocará la línea por encima de los círculos. Si el flujo es hacia atrás, lo que se llama *retroceso* (que va hacia R), la línea del flujo se dibuja debajo de los círculos (figura 5-3).

Observe las relaciones importantes (los dos círculos con varias líneas entre ellos). Lo que está claro en el diagrama de la figura 5-3 es que este arreglo de las máquinas produce muchos viajes. Para mejorar la distribución, mire las relaciones importantes (más de una parte sigue la misma ruta). Vea la relación entre C y D. Cuatro de las cinco partes realizan este viaje, de modo que esta relación es importante y C debe permanecer cerca de D. Las otras relaciones importantes se presentan aquí:

Núm. de parte	*Rutas (secuencia de operación)*
1	R A B D C F S
2	R B D C A S
3	R E F B A C D S
4	R F A C D S
5	R C A D S

Figura 5-2 Rutas de cinco partes.

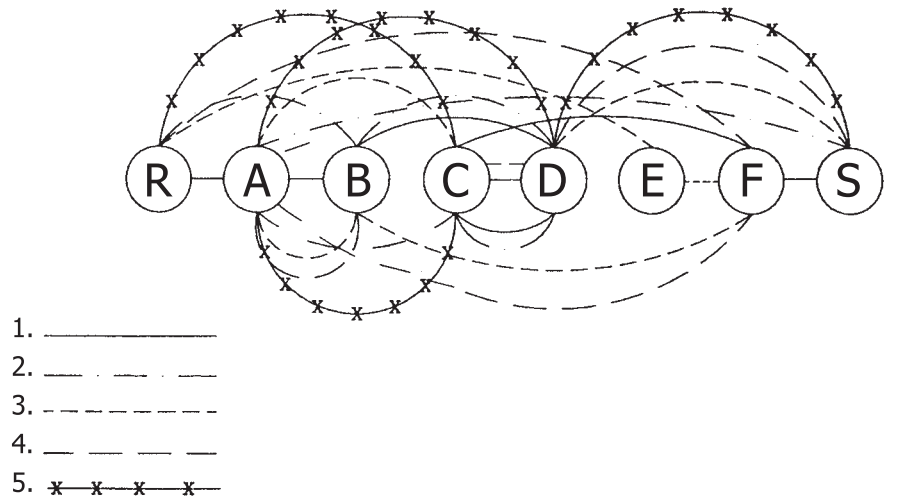


Figura 5-3 Diagrama de cuerdas (distribución alfabética, primer intento).

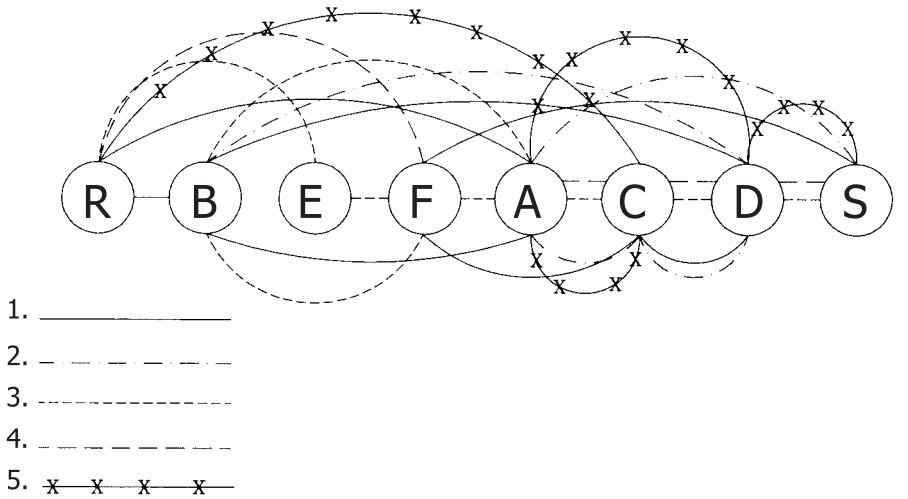


Figura 5-4 Diagrama de cuerdas, método mejorado.

1. B-D tiene dos líneas.
2. A-C tiene cuatro líneas.
3. D-S tiene tres líneas.

Así, la distribución se reacomoda (vea la figura 5-4). ¿Cuál es la mejor? Cada parte podría moverse siete etapas de R a S, por lo que una distribución perfecta requeriría que se movie-

ra sólo siete etapas multiplicadas por cinco partes, igual a 35 etapas. Una etapa es la distancia del centro de un círculo al centro del círculo adyacente. Si se salta un círculo, se requerirán dos etapas.

En la primera distribución, la alfabética, la parte 1 fue de R a A a B a D a C a F a S, para hacer un total de nueve etapas. La parte 2 viajó 13 etapas; la 3 se movió 17 etapas; la 4 recorrió 17 etapas, y la 5 pasó por 11 etapas.

Núm. de parte	*Núm. de etapas recorridas*
1	9
2	13
3	17
4	17
5	11
Total	67

$$\text{Eficiencia} = \frac{35}{67} = 52 \text{ por ciento}$$

La segunda distribución produjo menos etapas:

Núm. de parte	*Núm. de etapas recorridas*
1	19
2	11
3	11
4	7
5	9
Total	57

$$\text{Eficiencia} = \frac{35}{57} = 61 \text{ por ciento}$$

¿Usted qué tan eficiente puede hacer esta distribución?

Tabla de proceso de columnas múltiples

Con el uso de la misma información de las rutas que se usó en el diagrama para las cinco partes, una *tabla del proceso de columnas múltiples* muestra el flujo para cada parte enseguida, pero separada de cada una (vea las figuras 5-5 y 5-6). Primero que todo, se enlistan las operaciones en el lado izquierdo de la hoja, después se destina una columna pegada a la lista de operaciones, una por cada parte, como sigue (vea la figura 5-5):

$$\text{Eficiencia} = \frac{35}{67} = 52 \text{ por ciento}$$

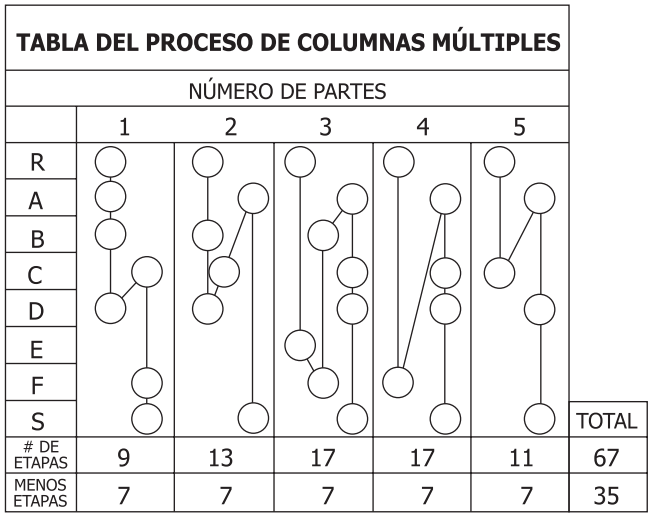


Figura 5-5 Tabla del proceso de columnas múltiples.

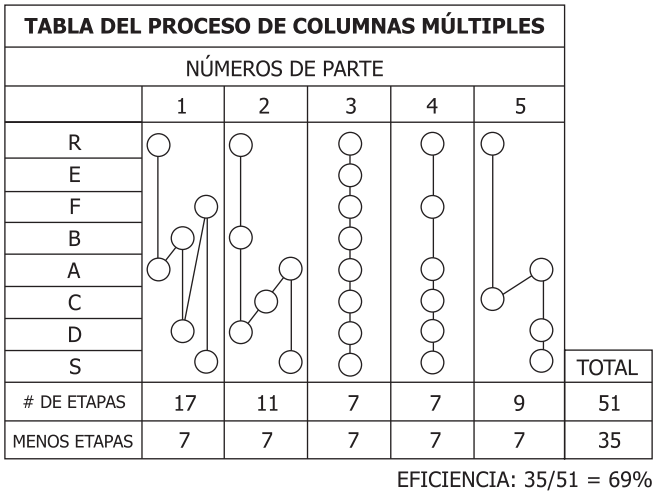


Figura 5-6 Tabla del proceso de columnas múltiples, distribución mejorada.

Ésta es la misma eficiencia que se alcanzó con el diagrama de cuerdas. Se intentará mejorar de nuevo, pero en forma diferente que con el diagrama de cuerdas. Observe las claves para mejorar. La figura 5-6 es una distribución mejorada.

$$\text{Eficiencia} = \frac{35}{51} = 69 \text{ por ciento}$$

Se ha tenido un avance importante en busca de una distribución perfecta. La distribución alfabética produjo sólo una eficiencia del 52 por ciento; ahora se tiene otra de 69 por ciento. Aún puede mejorarse la eficiencia. Antes de intentarlo, hay que estudiar la tercera técnica de análisis de flujo: la tabla de origen-destino.

Tabla de origen-destino

La *tabla de origen-destino* es la técnica más exacta de las tres. Los diseñadores pueden desarrollar una eficiencia que tome en cuenta la importancia de las partes. Hasta este momento se ha considerado que todas las partes tienen igual importancia, pero al principio de este capítulo, se dieron la cantidad y el peso de cada parte. La figura 5-7 muestra una tabla de los datos que se brindaron antes:

*Rutas para las cinco partes**

Núm. de parte	*Rutas (secuencia de operación)*
1	R A B D C F S
2	R B D C A S
3	R E F B A C D S
4	R F A C D S
5	R C A D S

*De la figura 5-2.

La importancia relativa de la parte 4 es 30 veces superior que las de las partes 1 y 3, por lo que debe tener 30 veces más efecto en la distribución.

La tabla de origen-destino es una matriz. La secuencia de las operaciones se escribe hacia abajo del lado izquierdo de la hoja, y en la parte superior de ésta. La secuencia vertical de las máquinas es el lado de los "orígenes" de la matriz. La secuencia horizontal son los "destinos" de la matriz. Todo se mueve de un lugar de *origen* a otro de *destino*. Cada vez que se requiere un movimiento, se coloca un valor ponderado en la coordenada en cuestión (vea la figura 5-8). En la figura 5-9 puede observarse un ejemplo que involucra a las cinco partes.

Para evaluar esta alternativa, se asignan puntos de penalización a cada movimiento en función de qué tan lejos va el movimiento desde la ubicación actual. Por ejemplo, el movimiento de R hacia A es contiguo, por lo que se multiplica ese peso por 1 (una casilla). De R a B hay dos casillas, así que se multiplica el 18 en esa casilla por dos, si hubiera 3 casillas

Núm. de parte	*Cantidad por día*	*Peso en libras*	*Peso total (lb)*	*Importancia relativa**
1	2,000	0.5	1,000	1.0
2	2,000	9.0	18,000	18.0
3	2,000	0.5	1,000	1.0
4	2,000	15.0	30,000	30.0
5	2,000	3.75	7,500	7.5

*Estos números y las rutas de la figura 5-2 generan el valor ponderado de cada movimiento.

Figura 5-7 Cantidad de partes y datos de su peso.

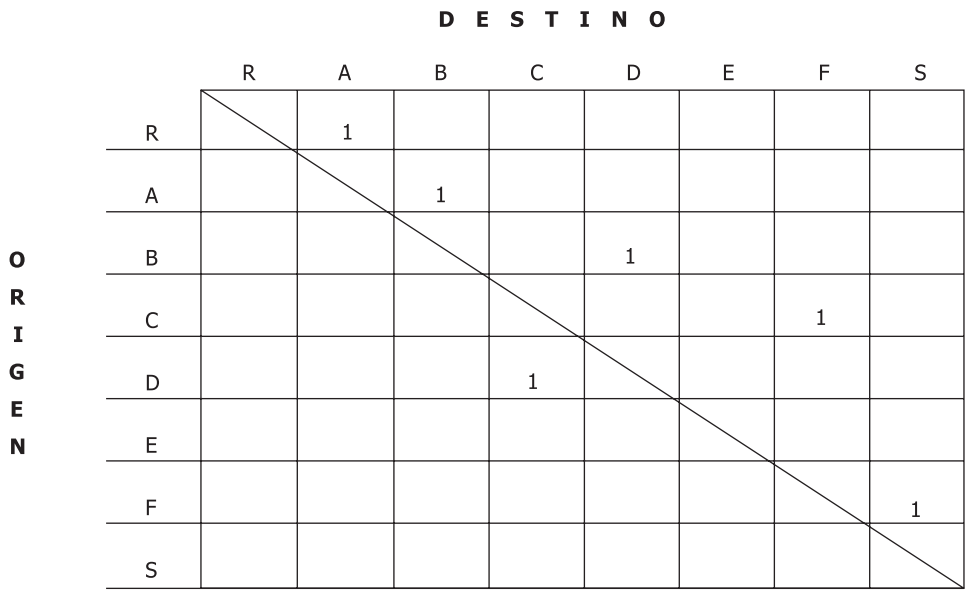


Figura 5-8 Tabla origen-destino; ejemplo para la parte 1, con valor relativo de 1.

se multiplicaría por tres, y así sucesivamente. En la figura 5-10, los números encerrados en un círculo son los puntos de penalización (p.p.). Por debajo y a la izquierda de la línea en diagonal se indican los retrocesos, por lo que los puntos de penalización se duplican.

La eficiencia de la distribución alfabética es:

$$\frac{283}{1{,}077.5} = 26 \text{ por ciento}$$

Ahora, busque las claves para mejorar. Éstas las constituyen los puntos de penalización con valores más altos. Por ejemplo, la trayectoria de F a A tiene una penalización de 300. Esto significa que F requiere estar más cerca de A. El movimiento de R hacia F tiene 180 puntos de penalización. Quiere decir que F debe estar más cerca de R. El cambio a una distribución nueva cambiará las secuencias tanto vertical como horizontal. La figura 5-5 ilustra una distribución mejorada:

$$\text{Eficiencia} = \frac{283}{548} = 51.6 \text{ por ciento}$$

Ésta puede mejorar aún. Encuentre la mejor distribución. Una con eficiencia de 56 por ciento es la mejor posible. En este caso no es posible una distribución perfecta (flujo en línea recta sin retrocesos) debido a las rutas distintas que sigue cada parte, con la suposición de que no hay otra posibilidad. Si se pudiera cambiar la ruta de tan sólo una parte, la eficiencia podría mejorar. Las limitaciones prácticas son las que imponen las rutas, por lo que surge la necesidad de acomodar las máquinas y los equipos en la mejor forma posible. Las técnicas que ayudan a conseguir la mejor distribución son el diagrama de cuerdas, la tabla del proceso de columnas múltiples y la tabla de origen-destino.

ORIGEN \ DESTINO	R	A	B	C	D	E	F	S	Total
R		1	18	7.5		1	30		57.5
A			1	1+30	7.5			18	57.5
B		1			1+18				20
C		18+7.5			30+1		1		57.5
D				18+1				30+1 7.5	57.5
E							1		1
F		30	1					1	32
S									

TOTAL : 283

Figura 5-9 Tabla origen-destino, distribución alfabética.

La primera parte de este capítulo enuncia cuatro objetivos del análisis de flujo. Los primeros dos consisten en minimizar la distancia recorrida y los retrocesos. Estas tres primeras técnicas (diagrama de cuerdas, tabla del proceso de columnas múltiples y tabla de origen-destino) persiguen dichos objetivos. Lo que se logra mejor es desalentar los retrocesos, pero las distancias se consideraron sólo en términos relativos. Técnicas posteriores le permitirán calcular la distancia exacta medida en pies. El último objetivo del análisis de flujo es minimizar el costo de producción. La última técnica del análisis de flujo de fabricación se aboca a esto.

Tabla del proceso

La *tabla del proceso* (vea la figura 5-12) se usa sólo para una parte, con el registro de todo lo que le ocurre a ésta desde el momento en que llega a la planta hasta que se reúne con las demás partes. Para describir lo que sucede se utilizan los símbolos siguientes:

ORIGEN \ DESTINO	R	A	B	C	D	E	F	S	T	P.P.
R		1 (1)	18 (36)	7.5 (22.5)		1 (5)	30 (180)		57.5	244.5
A			1 (1)	31 (62)	7.5 (22.5)			18 (108)	57.5	193.5
B		1 (2)			19 (38)				20	40
C		25.5 (102)			31 (31)		1 (3)		57.5	136
D				19 (38)				38.5 (115.5)	57.5	153.5
E							1 (1)		1	1
F		30 (300)	1 (8)					1 (1)	32	309
S									—	—
T P.P.		57.5	20	57.5	57.5	1	32	57.5	283	1077.5

P.P. = Puntos de penalización.

Figura 5-10 Tabla origen-destino, análisis de la distribución alfabética.

Símbolo	*Descripción*
○	= operación, trabajo sobre la parte
⇨	= transporte, movimiento de la parte
▽	= almacenamiento, almacenes, bodega, trabajo en proceso
D	= demora, almacenamiento muy breve por lo general en la estación de manufactura; contenedores de partes de entrada tanto como de salida
□	= inspección, control de calidad, trabajo sobre el producto
◎	= operación combinada e inspección

Representar el proceso con tablas lleva por sí solo a un formato estándar. Un formato diseñado de modo apropiado conducirá a los diseñadores a hacer preguntas de cada etapa. Ellos desean saber por qué, quién, qué, dónde, cuándo y cómo de cada operación, transporte, inspección, almacenamiento y demora. Una vez que los diseñadores comprenden las respuestas a estas preguntas, pueden hacer las siguientes:

ORIGEN \ DESTINO	R	E	F	B	A	C	D	S	T	P.P.
R		1 (1)	30 (60)	18 (54)	1 (4)	7.5 (37.5)			57.5	156.5
E			1 (1)						1	1
F				1 (1)	30 (60)			1 (5)	32	66
B					1 (1)		1+18 (57)		20	58
A				1 (2)		1+30 (31)	7.5 (15)	18 (54)	57.5	102
C			1 (6)		18+7.5 (51)		1+30 (31)		57.5	88
D						1+18 (38)		1+30+7.5 (38.5)	57.5	76.5
S									—	—
T		1	32	20	57.5	57.5	57.5	57.5	283	
P.P.		1	67	57	116	106.5	103	97.5		548.0

Figura 5-11 Tabla origen-destino, análisis de la distribución alfabética mejorada.

1. ¿Puede eliminarse esta etapa?
2. ¿Es posible automatizar esta etapa?
3. ¿Podría combinarse esta etapa con otra?
4. ¿Es posible cambiar las rutas para reducir las distancias de viaje?
5. ¿Las estaciones podrían agruparse más cerca?
6. ¿Se pueden justificar los apoyos a la producción para incrementar la efectividad?
7. ¿Cuánto cuesta producir esta parte?

Descripción paso a paso para la tabla del proceso

Este procedimiento paso a paso acompaña a la figura 5-12.

FRED MEYERS & ASSOCIATES TABLA DE PROCESO

☐MÉTODO EXISTENTE ① ☐MÉTODO PROPUESTO: FECHA: ② PÁGINA ___ DE ___

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: ③

DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: ④

RESUMEN	EXISTENTE		PROPUESTO		DIFERENCIA	
	NÚM.	HORA	NÚM.	HORA	NÚM.	HORA
○OPERACIONES						
⇨TRANSPORTE				⑤		
☐INSPECCIONES						
D DEMORAS						
▽ALMACENAMIENTOS						
DISTANCIA RECORRIDA	PIES		PIES		PIES	

ANÁLISIS:

POR QUÉ CUÁNDO
QUÉ ⑥ QUIÉN
DÓNDE CÓMO

DIAGRAMA ⑦ DE FLUJO ADJUNTO (IMPORTANTE)

REALIZADO POR:

ETAPA	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIONES	DEMORAS	ALMACENAMIENTOS	DIST. EN PIES	CANTIDAD	HORA HORAS/UNIDAD 00001	COSTO POR UNIDAD	CÁLCULOS DE TIEMPO/COSTO
1			○	⇨	☐	D	▽					
2			○	⇨	☐	D	▽					
3	⑧	⑨	○	⇨	⑩	D	▽	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
4			○	⇨	☐	D	▽					
5			○	⇨	☐	D	▽					
6			○	⇨	☐	D	▽					
7			○	⇨	☐	D	▽					
8			○	⇨	☐	D	▽					
9			○	⇨	☐	D	▽					
10			○	⇨	☐	D	▽					
11			○	⇨	☐	D	▽					
12			○	⇨	☐	D	▽					
13			○	⇨	☐	D	▽					
14			○	⇨	☐	D	▽					
15			○	⇨	☐	D	▽					
16			○	⇨	☐	D	▽					
17			○	⇨	☐	D	▽					

Figura 5-12 Ejemplo de tabla del proceso.

① *Método existente o propuesto:* se requiere una marca de verificación en una de las dos casillas. Una buena práctica de la ingeniería industrial es registrar siempre el método existente, de modo que el propuesto pueda compararse siempre. Fijar el costo con los métodos propuesto y existente requerirá justificación de la propuesta, en especial, si cualquiera de los costos está involucrado. Una buena idea para cualquier ingeniero es registrar y divulgar la reducción del costo expresado en dólares que se ahorraron.

② *Fecha* _____ *Página* _____ *de* _____*:* siempre escriba la fecha en su trabajo. Éste tiende a estar por ahí durante años, y algún día querrá saber cuándo hizo aquel trabajo grandioso. En los trabajos extensos son importantes los números de página a fin de ayudar a conservar el orden apropiado.

③ *Descripción de la parte:* es probable que ésta sea la información más importante del formato. Todo lo demás será inútil si no registra el número de parte. Cada tabla del proceso está dedicada a una parte, por tanto sea específico. La descripción de la parte también incluye su nombre y especificaciones. Sería útil adjuntar un dibujo a la tabla del proceso.

④ *Descripción de la operación:* en este bloque se registran los límites del estudio; *por ejemplo*, del departamento de recepción al de ensamblado. Asimismo, aquí puede estar cualquier información de interés.

⑤ *Resumen:* sólo se usa para la solución propuesta. se registra el conteo de las operaciones, el transporte, la inspección, las demoras y el almacenamiento, para los métodos propuesto y existente y se calcula la diferencia (ahorros) entre ellos.

La distancia recorrida se obtiene para ambos métodos y luego se determina la diferencia. Se resumen los estándares de tiempo en minutos u horas y se calcula la diferencia. Así, el resultado de todo proceso de elaborar tablas de los procesos existente y propuesto, consiste en información acerca de la reducción del costo. Se volverá a esta etapa 5 después de la 15.

⑥ *Análisis:* se plantean las preguntas por qué, qué, dónde, cuándo, cómo y quién para cada etapa (renglón) de la tabla del proceso. La primera es "por qué". Si no tiene una razón buena para la etapa, puede eliminarla y ahorrar el 100 por ciento del costo. El cuestionamiento de cada etapa es la manera en que se llega al método propuesto. Con dichas preguntas los diseñadores intentan:

a. Eliminar toda etapa posible porque esto produce los ahorros más grandes.
b. Combinar etapas cuando no puedan eliminarse, con el fin de distribuir el costo y tal vez eliminar las etapas intermedias. Por ejemplo, si se combinan dos etapas es posible eliminar las demoras y el transporte. Si se combina el transporte, muchas partes se manejarán como una sola.
c. Cambiar la secuencia de las operaciones con objeto de mejorar y reducir el flujo, y ahorrar muchos pies de recorrido si las etapas no pueden combinarse o eliminarse.

Como puede ver, la fase de análisis de la elaboración de la tabla del proceso le da a éste significado y propósito. Se volverá a la etapa 6 después de la 15, sobre reducción de costos.

⑦ *Diagrama de flujo adjunto (importante):* hacer la tabla del proceso tiene un uso conjunto con la elaboración de diagramas de flujo. En ambas técnicas se utilizan los mismos símbolos. La tabla del proceso consiste en palabras y números, mientras

que el diagrama de flujo es el dibujo (el diagrama es la técnica que se describe en la sección siguiente). Los métodos presente y propuesto de ambas técnicas deben narrar la misma historia; deben concordar.

Realizado por: aquí va el nombre del diseñador de las instalaciones.

⑧ *Detalles del proceso:* se numera cada renglón de la tabla del flujo del proceso, en el frente y al reverso. Se usa una tabla para 42 etapas. Cada una de éstas es independiente por completo y permanece sola. Una descripción de lo que pasa en cada etapa ayuda a responder las preguntas del analista. Describa lo que ocurre con el menor número de palabras que sea posible. Esta columna nunca se deja en blanco.

⑨ *Método:* por lo general, se refiere a la forma en que se transporta el material: con montacargas, carros de mano, transportador, a mano; pero los métodos de almacenamiento también pueden mencionarse aquí.

⑩ *Símbolos:* aquí se citan los símbolos de la tabla del proceso. El analista debe clasificar cada etapa y sombrear el símbolo apropiado para indicar a todos en qué consiste esta etapa.

⑪ *Distancia en pies:* esta etapa sólo se usa con el símbolo de transporte. La suma de esta columna es la distancia recorrida con cierto método. Esta columna es uno de los mejores indicadores de productividad.

⑫ *Cantidad:* se refiere a muchas cosas:

a. Operación: cuántas piezas se producen por hora.
b. Transporte: cuántas piezas se movieron en cierto momento.
c. Inspección: cuántas piezas se inspeccionaron por hora, si fue mediante un tiempo estándar o con frecuencia de inspección.
d. Demora: cuántas piezas hay en el contenedor. Esto nos dirá qué tan grande es la demora.
e. Almacenamiento: cuántas piezas hay por unidad de almacenamiento.

Todos los costos se expresarán como costo unitario o costo por unidad, por lo que es importante saber cuántas piezas se transportaron en un periodo de tiempo.

⑬ *Tiempo en horas por unidad (.00001):* esta etapa es para el costo de la mano de obra. El costo del almacenamiento y las demoras se considerarán de otro modo (como costo de inventario). Esta columna se usará sólo para las operaciones, el transporte y la inspección. El tiempo por unidad se calcula de dos formas:

a. Se comienza con las piezas por tiempo estándar por hora, digamos 250 piezas por hora, se divide 1 hora entre 250 piezas y se obtiene .0040 horas por unidad. En la tabla del proceso se escribe 400 en la columna de tiempo, con la convención de que el punto decimal se encuentra siempre en la quinta posición.
b. Se inicia con el tiempo de manejo de materiales de 1.000 minuto para cambiar un recipiente de partes a una estación de manufactura con carros de mano, piense que se tienen 200 partes en un recipiente. ¿Cuántas horas por unidad es el tiempo estándar?

$$\frac{1.000 \text{ minutos por contenedor}}{200 \text{ partes por contenedor}} = .005 \text{ minutos por parte}$$

$$\frac{.005 \text{ minutos por parte}}{60 \text{ minutos por hora}} = .00008 \text{ horas por parte}$$

⑭ *Costo por unidad:* las horas por unidad multiplicadas por la tasa de mano de obra son iguales al costo por unidad. Por ejemplo, en los dos problemas anteriores, si se usa una tasa de mano de obra de $15.00 por hora, el costo unitario sería:
   a. $.00400 \times \$15.00 = \$.06$ por unidad.
   b. $.00008 \times \$15.00 = \$.0012$ por unidad.

   El costo por unidad es la columna vertebral de la tabla del proceso. Debido a que siempre se está en búsqueda de una forma mejor, el método más barato es el mejor de los caminos.

⑮ *Cálculos de tiempo/costo:* se pide a los ingenieros industriales que calculen los costos con base en muchas cosas y, por tanto, la forma en que se calcularon tiende a perderse. Este espacio se destina a registrar las fórmulas que se desarrollaron para determinar los costos, de modo que no tenga que volverse a hacer una y otra vez.

⑯ *Resumen:* una vez terminadas todas las etapas de la tabla del proceso del método existente, el resumen se integra con lo siguiente:
   a. Conteo de todas las operaciones, transporte, etcétera.
   b. Sumar el tiempo unitario de todas las etapas.
   c. Sumar la distancia viajada.

FLUJO TOTAL DE LA PLANTA

Las tres técnicas que se estudiaron en esta sección incluyen lo siguiente:

1. Diagramas de flujo.
2. Gráfica de operaciones.
3. Gráfica de flujo del proceso.

Se considerará cada etapa en el proceso de fabricación, ensamblado y empaque del producto. Las técnicas usan los mismos símbolos que se emplearon en la gráfica del proceso, pero en forma diferente. Se consideran todas las partes, no solo una.

Diagramas de flujo

Los *diagramas de flujo* (vea las figuras 5-13 y 5-14) muestran la trayectoria que recorre cada parte, desde la recepción, los almacenes, la fabricación de cada parte, el subensamble, el ensamble final, el empaque, el almacenamiento y el envío. Estas trayectorias se dibujan en una distribución de la planta.

El diagrama de flujo pondrá de manifiesto factores como tráfico cruzado, retrocesos y distancia recorrida.

Tráfico cruzado

El *tráfico cruzado* ocurre donde las líneas de flujo se cruzan. Es indeseable y una mejor distribución tendrá pocas trayectorias que se intersequen. Cualquier cruce de tráfico es un problema, debido a las complicaciones de congestión y seguridad que provoca. La mayor parte del tráfico cruzado se elimina con la colocación apropiada del equipo, los servicios y los departamentos.

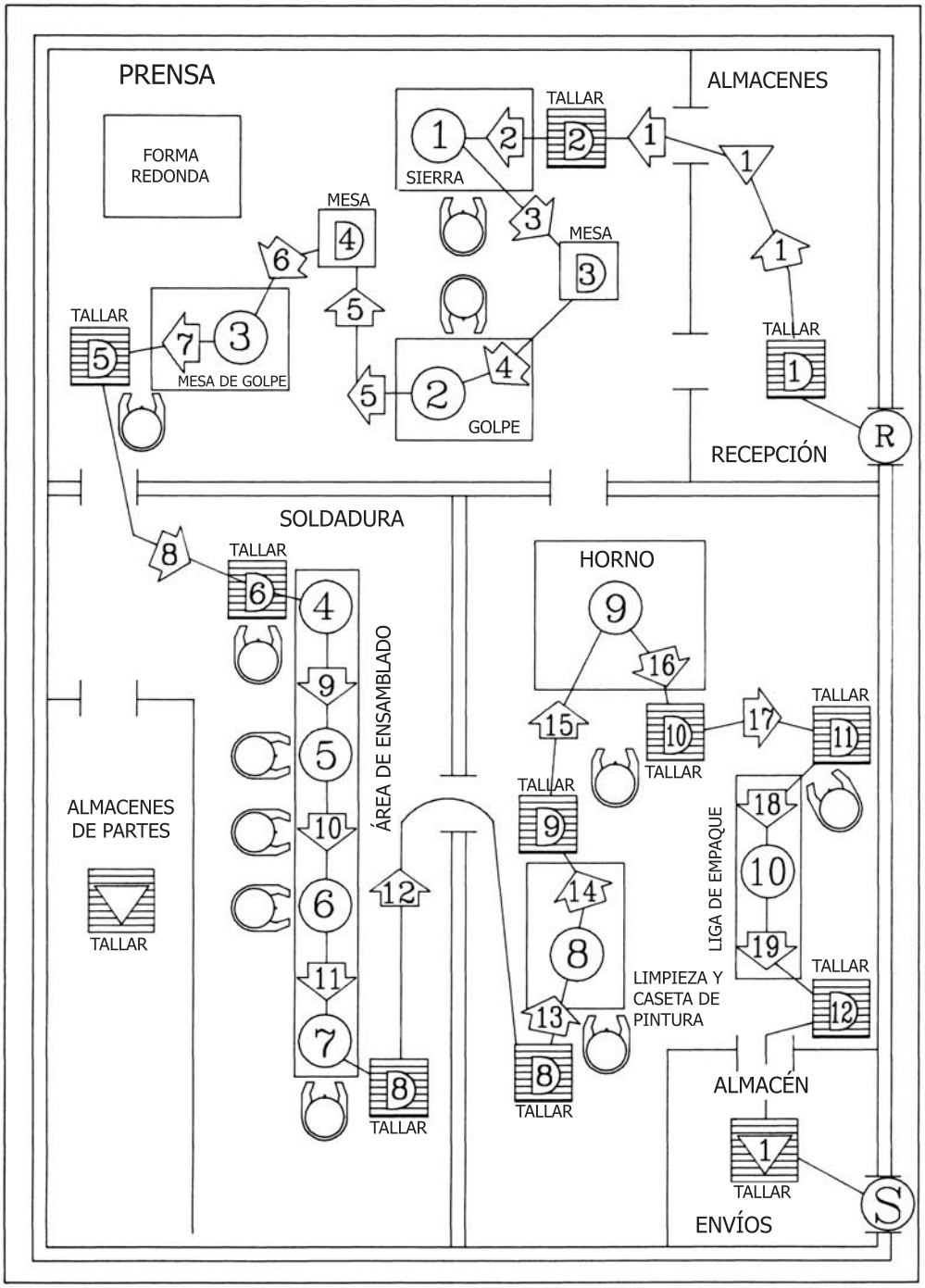


Figura 5-13 Diagrama de flujo.

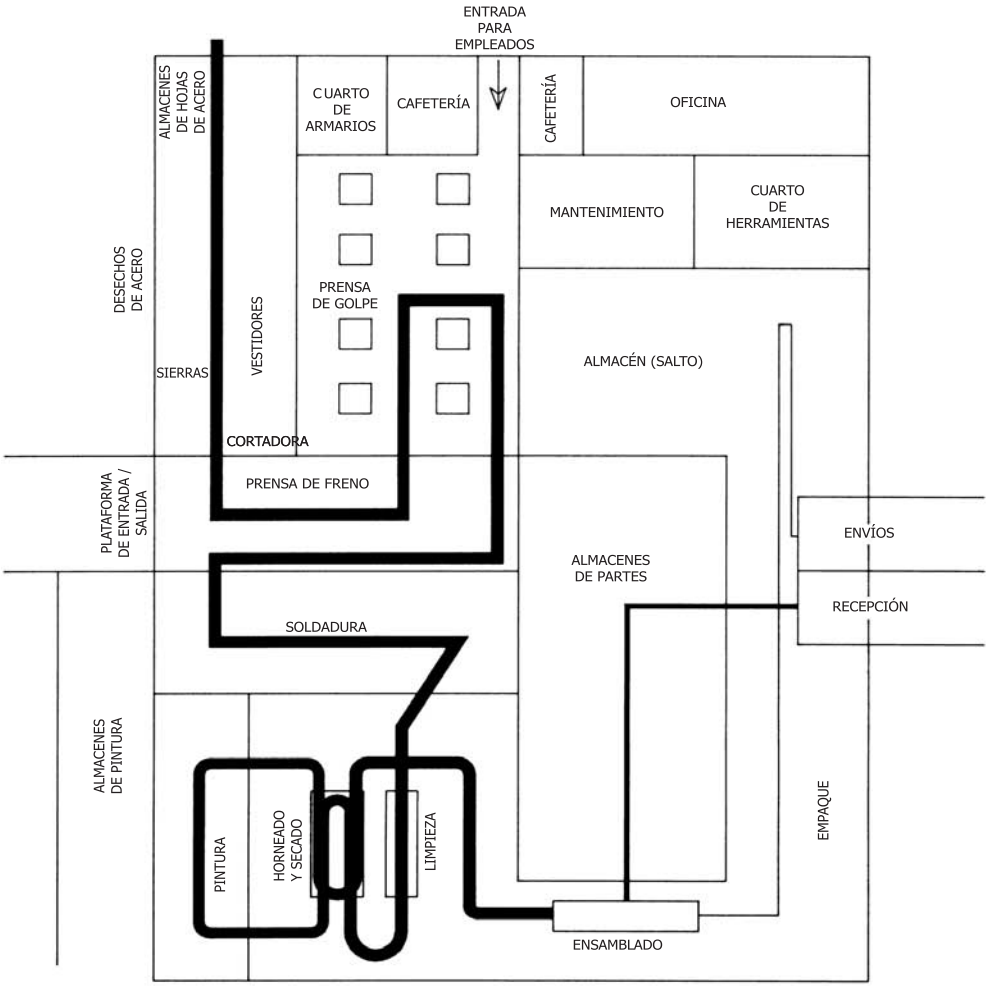


Figura 5-14 Diagrama de flujo, planta de cajas de herramientas.

Retrocesos

El *retroceso* es el movimiento hacia atrás del material en la planta. Los materiales deberían moverse siempre hacia el extremo de envíos de la planta. Si se mueve hacia la recepción, va hacia atrás. El retroceso cuesta lo triple que el flujo correcto. Por ejemplo, considere cinco departamentos así:

¿Cuántas veces se movió el material entre los departamentos 3 y 4? ¡Tres veces! Dos veces hacia adelante y una hacia atrás. Si esta planta se reacomodara y cambiara alrededor de los departamentos 3 y 4, se tendría el flujo directo, así:

Este acomodo no tiene retrocesos. Como tiene eficiencia alta, los materiales recorren una distancia menor. En el primer ejemplo viajaba por seis bloques (un bloque es una etapa entre departamentos contiguos). Con el flujo en línea recta, viajaba sólo cuatro (lo que representa un incremento del 33 por ciento en la productividad).

Distancia recorrida

Recorrer distancia cuesta dinero. Entre menor distancia de viaje haya, mejor. El diagrama de flujo se desarrolla sobre una distribución, y es fácil darle una escala para calcular la distancia de recorrido. Con el reacomodo de máquinas o departamentos es posible disminuir las distancias de viaje.

Debido a que los diagramas de flujo se crean en distribuciones de planta, no se usa una forma estándar y hay pocas convenciones que restringen al diseñador. El objetivo es poner de manifiesto todas las distancias que recorre una parte y encontrar maneras de reducir el total.

El diagrama de flujo se desarrolla a partir de la información de una hoja de ruta, el balanceo de la línea de ensamble y los planos. La hoja de ruta especifica la secuencia de fabricación de cada parte del producto. Esta secuencia de etapas necesaria para fabricar una parte es muy práctica y da cabida a la flexibilidad. Una etapa puede tener lugar antes o después de otra, dependiendo de las condiciones. Si es posible, la secuencia de etapas debe ser cambiada para adaptarla a la distribución, porque esto requiere sólo el cambio del trabajo realizado en papel. Pero si la secuencia de operaciones no puede modificarse y el diagrama de flujo muestra retrocesos, quizá sea necesario mover los equipos. El objetivo siempre será "hacer una parte de alta calidad del modo más barato y eficiente posible".

Procedimiento paso a paso para desarrollar un diagrama de flujo

Paso 1. El diagrama de flujo comienza con una distribución, existente o propuesta, dibujada a escala.

Paso 2. A partir de la hoja de ruta, se dibuja cada etapa de la fabricación de cada parte, se conecta con una línea y se emplean códigos de color u otros métodos para distinguir los elementos diferentes.

Paso 3. Una vez que todas las partes han sido fabricadas, se reúnen en una secuencia específica en la línea de ensamblado. La posición de la línea estará determinada por el punto del que provienen las partes individuales. En la línea de ensamblado todas las líneas de flujo se reúnen y van como una sola hacia el empacado, el almacén y el envío. Un diagrama de flujo bien pensado será la mejor técnica para desarrollar la distribución de la planta.

Es frecuente usar pantallas de acetato para hacer distribuciones de planta y desarrollar líneas de flujo en los diagramas. Las líneas de flujo se dibujan con un lápiz de punta suave y se agrupan por clases para las plantas con una variedad de partes diferentes. No hace falta que un producto sea grande para hacer que la distribución de la planta de los departamentos de fabricación parezca un plato de espagueti. Usar varias pantallas de acetato simplificará el análisis.

Un ingeniero industrial nuevo aprenderá mucho de la creación del diagrama de flujo, y otro experimentado siempre encontrará maneras de mejorar el flujo del material. Vuelva a consultar la figura 5-13, que muestra el flujo de una parte a través de la planta. ¿Podría usted recomendar alguna mejora? La figura 5-14 muestra el flujo para el ejemplo de la caja de herramientas.

La gráfica de operaciones

La *gráfica de operaciones* (vea las figuras 5-15 y 5-16) tiene un círculo para toda operación requerida para fabricar cada parte, montarla en el ensamble final, y empacar el producto terminado. En una hoja de papel se incluye toda operación de producción, todo trabajo y toda parte.

Las tablas de operaciones muestran la introducción de materias primas en la parte superior de la página, en una línea horizontal (vea la figura 5-15). El número de partes determinará el tamaño y la complejidad de la gráfica de operaciones.

Debajo de la línea de materias primas se dibuja una línea vertical que conecte los círculos (etapas de la fabricación, desde la materia prima hasta las partes terminadas). La figura 5-15 ilustra estos puntos. Una vez que se han dibujado las etapas de fabricación de cada parte, todas ellas se reúnen en el ensamble. Por lo general, la primera parte para comenzar el ensamble se muestra en el extremo derecho de la gráfica. La segunda parte se muestra a la izquierda del anterior y, así sucesivamente, se trabaja de derecha a izquierda (vea la figura 5-16). Algunas partes no requieren etapas de fabricación. Como se describió al principio de este capítulo, esas partes se llaman compras externas. Éstas se introducen arriba de la operación en la que se usarán (como se aprecia en la parte inferior de la figura 5-16, operación de empaque). En la operación de empaque, se colocarán seis productos en una caja maestra que se sellará con cinta adhesiva.

La gráfica de operaciones muestra muchas operaciones en una sola página. De ella puede obtenerse información acerca de las materias primas, las compras externas, la secuencia de fabricación, la secuencia de ensamblado, las necesidades de equipo, los estándares de tiempo e, incluso, tener una idea de la distribución de la planta. ¿Le sorprende entonces que los diseñadores de distribuciones de planta la consideren una de sus herramientas favoritas?

La gráfica de operaciones es diferente para cada producto, por lo que un formato estándar no es práctico. El círculo se acepta en forma universal como el símbolo de las operaciones. Existe más convencionalismo para hacer gráficas de operaciones que para diagramas de flujo, pero los diseñadores no deben ser tan rígidos en su forma de pensar.

Procedimiento paso a paso para preparar una gráfica de operaciones

Paso 1. Identificar las partes que van a manufacturarse y las que se comprarán terminadas.

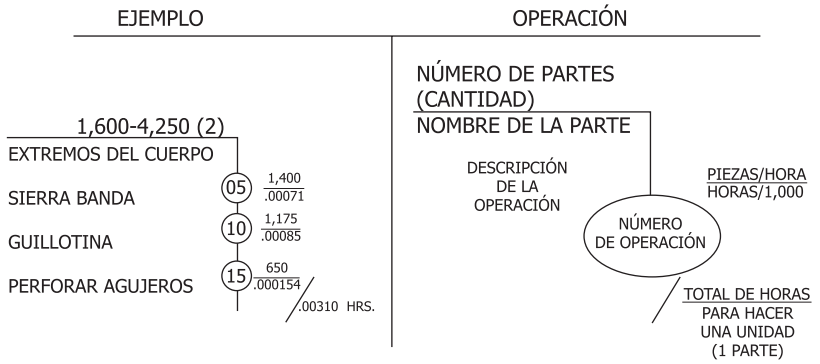


Figura 5-15 Muestra de una gráfica de operaciones.

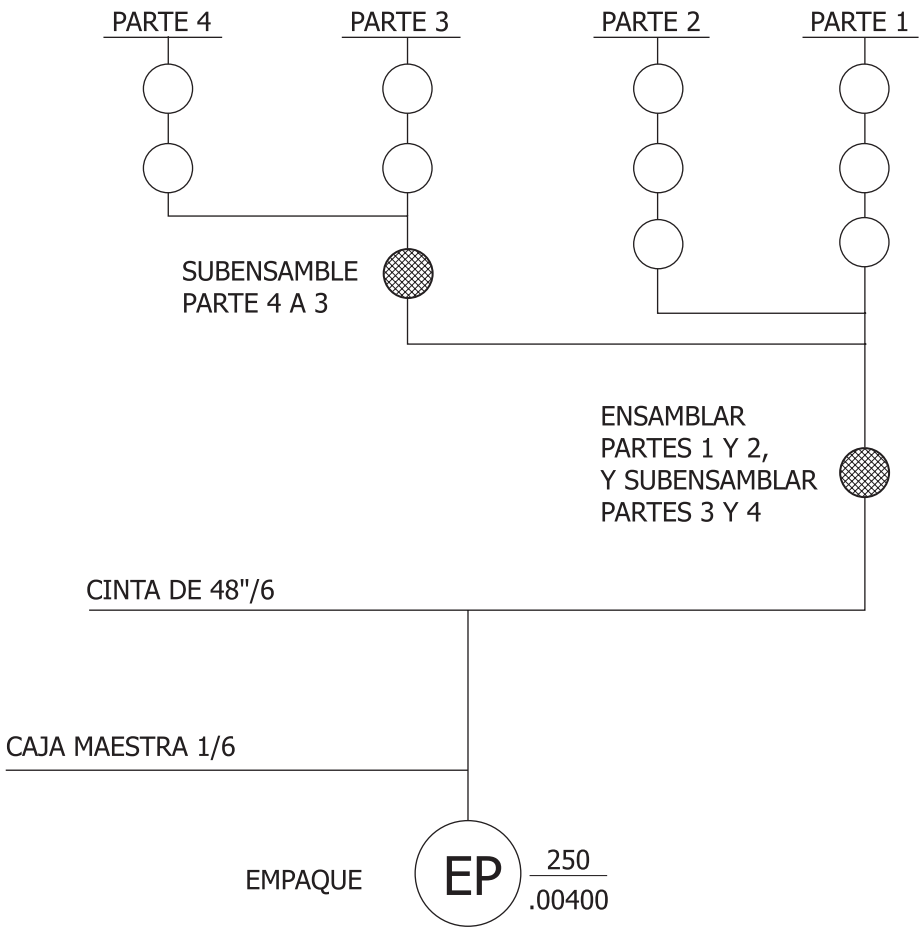


Figura 5-16 Diseño de la gráfica de operaciones.

Paso 2. Determinar las operaciones que se requieren para fabricar cada parte y su secuencia.

Paso 3. Determinar la secuencia de ensamblado, tanto de las partes compradas como de las fabricadas.

Paso 4. Encontrar la parte base. Ésta es la parte que inicia el proceso de ensamblado. Se escribe su nombre en una línea horizontal en el extremo superior derecho de la gráfica. En una línea vertical, que se extiende hacia abajo desde el lado derecho de la línea horizontal, se coloca un círculo que representa cada operación. Se enlistan todas las operaciones hacia abajo, se comienza con la primera operación y se sigue hasta la última.

Paso 5. Colocar la segunda parte a la izquierda de la primera, la tercera a la izquierda de la segunda y, así sucesivamente, hasta que todas las partes manufacturadas se encuentren listadas transversalmente, desde la parte superior de la página y en orden inverso de ensamblado. Todas las etapas de fabricación se enlistan debajo de las partes con un círculo que representa cada operación.

Paso 6. Dibujar una línea horizontal desde la parte inferior de la última operación, de la segunda parte a la primera, justo debajo de la operación final de fabricación y justo arriba de la primera operación de ensamblado. En función de cuántas partes son colocadas juntas por el primer ensamblador, la tercera, la cuarta y las demás fluirán en la línea vertical de la primera parte, pero siempre arriba del círculo de ensamblado para la operación de ensamble en cuestión.

Paso 7. Introducir todas las partes compradas en el exterior en líneas horizontales arriba del círculo de la operación de ensamblado, donde se colocan en el ensamble.

Paso 8. Escribir estándares de tiempo, números de operación y descripciones de éstas junto al círculo y dentro de éste, como ya se explicó.

Paso 9. Sumar las horas totales por unidad y escribir el resultado en el extremo inferior derecho, abajo del último ensamble u operación de empacado.

La figura 5-17 es un buen ejemplo de una gráfica de operaciones que muestra un subensamble. Algunas partes fluirán juntas antes de que lleguen a la línea de ensamblado: podrían ser partes soldadas entre sí o partes reunidas en una bolsa. Esto se denomina subensamble y recibe el mismo trato que el ensamble principal, excepto porque se realiza antes de que las partes alcancen la línea vertical del lado derecho. Empacar una bolsa es un ejemplo apropiado. Por lo general, todas las partes son compras externas y podrían colocarse en el extremo izquierdo de la gráfica de las operaciones, como el empaque de bolsa en la figura 4-8 SA3 (vea el capítulo 4) y en la parte inferior izquierda de la figura 5-17 SA3.

Gráfica de flujo del proceso

La *gráfica de flujo del proceso* combina la gráfica de las operaciones con la gráfica del proceso. La gráfica de las operaciones usa un solo símbolo, el círculo, o símbolo de operación. La gráfica de flujo del proceso es tan sólo cinco veces más, porque usa los cinco símbolos de la gráfica del proceso. Otra diferencia es que las partes que se adquieren en el exterior se tratan igual que las manufacturadas. No existe un formato estándar para hacer la gráfica de flujo del proceso (vea la figura 5-18 en las pp. 160 y 161).

La gráfica de flujo del proceso es la más completa de todas las técnicas y cuando está terminada, el ingeniero sabrá más que nadie acerca de la operación de la planta.

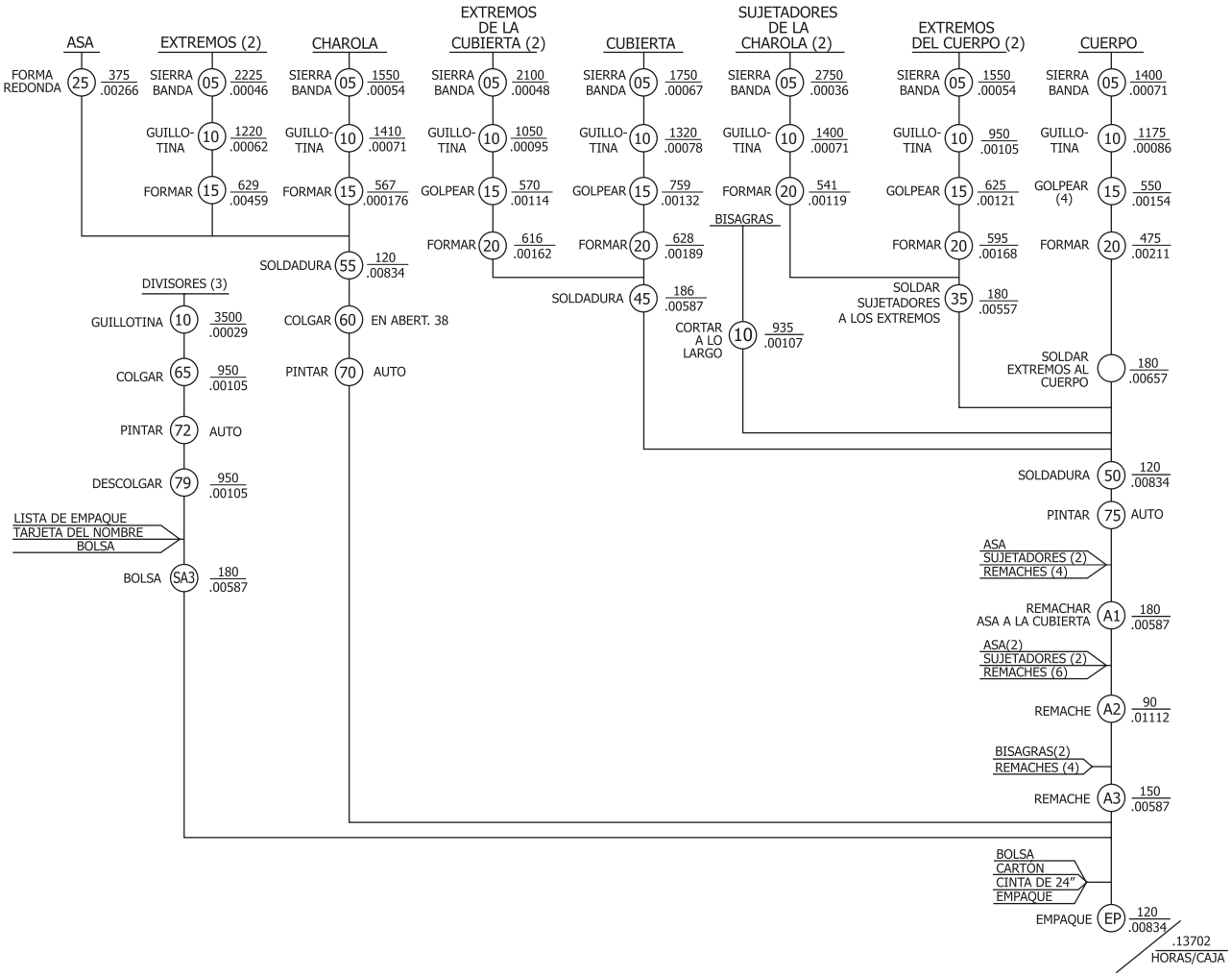


Figura 5-17 Muestra de gráfica de operaciones, ejemplo de subensamble.

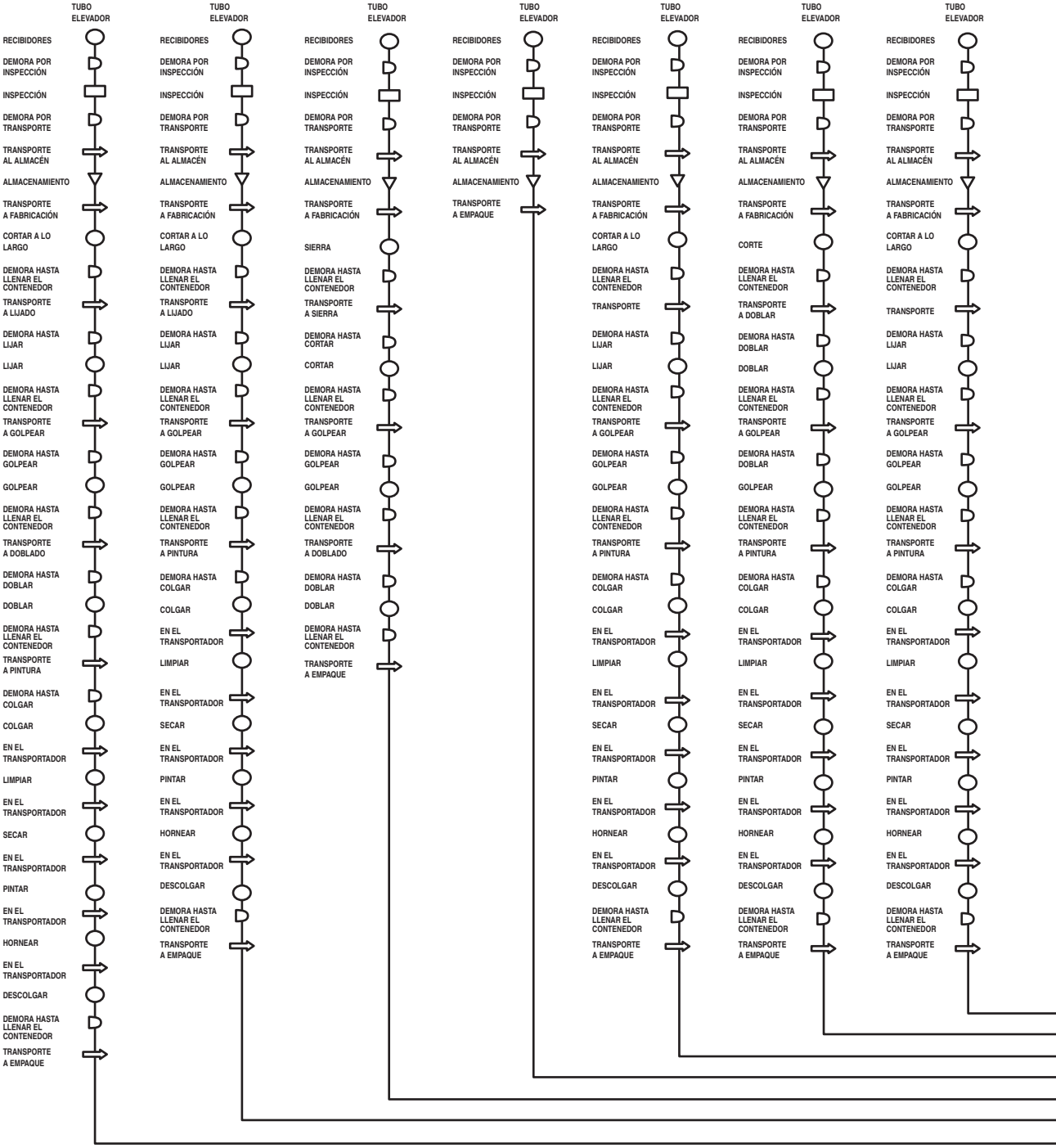
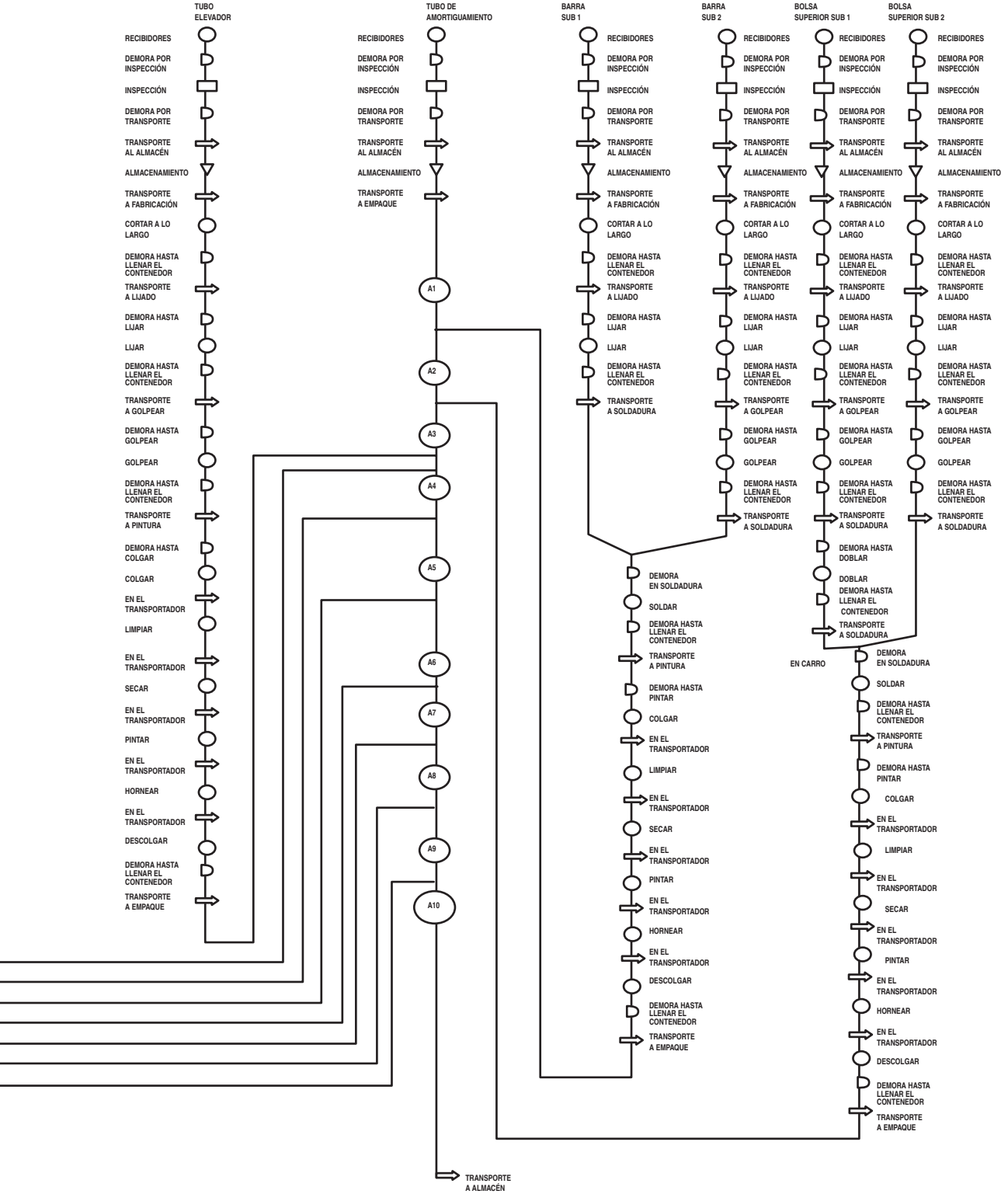


Figura 5-18 Gráfica de flujo del proceso (cortesía de Christine M. Stephens, diseñadora en CAD).


TUBO ELEVADOR
RECIBIDORES
DEMORA POR INSPECCIÓN
INSPECCIÓN
DEMORA POR TRANSPORTE
TRANSPORTE AL ALMACÉN
ALMACENAMIENTO
TRANSPORTE A FABRICACIÓN
CORTAR A LO LARGO
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A LIJADO
DEMORA HASTA LIJAR
LIJAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A GOLPEAR
DEMORA HASTA GOLPEAR
GOLPEAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A PINTURA
DEMORA HASTA COLGAR
COLGAR
EN EL TRANSPORTADOR
LIMPIAR
EN EL TRANSPORTADOR
SECAR
EN EL TRANSPORTADOR
PINTAR
EN EL TRANSPORTADOR
HORNEAR
EN EL TRANSPORTADOR
DESCOLGAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A EMPAQUE
TUBO DE AMORTIGUAMIENTO
RECIBIDORES
DEMORA POR INSPECCIÓN
INSPECCIÓN
DEMORA POR TRANSPORTE
TRANSPORTE AL ALMACÉN
ALMACENAMIENTO
TRANSPORTE A EMPAQUE
A1
A2
A3
A4
A5
A6
A7
A8
A9
A10
TRANSPORTE A ALMACÉN
BARRA SUB 1
RECIBIDORES
DEMORA POR INSPECCIÓN
INSPECCIÓN
DEMORA POR TRANSPORTE
TRANSPORTE AL ALMACÉN
ALMACENAMIENTO
TRANSPORTE A FABRICACIÓN
CORTAR A LO LARGO
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A LIJADO
DEMORA HASTA LIJAR
LIJAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A SOLDADURA
BARRA SUB 2
RECIBIDORES
DEMORA POR INSPECCIÓN
INSPECCIÓN
DEMORA POR TRANSPORTE
TRANSPORTE AL ALMACÉN
ALMACENAMIENTO
TRANSPORTE A FABRICACIÓN
CORTAR A LO LARGO
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A LIJADO
DEMORA HASTA LIJAR
LIJAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A GOLPEAR
DEMORA HASTA GOLPEAR
GOLPEAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A SOLDADURA
BOLSA SUPERIOR SUB 1
RECIBIDORES
DEMORA POR INSPECCIÓN
INSPECCIÓN
DEMORA POR TRANSPORTE
TRANSPORTE AL ALMACÉN
ALMACENAMIENTO
TRANSPORTE A FABRICACIÓN
CORTAR A LO LARGO
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A LIJADO
DEMORA HASTA LIJAR
LIJAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A GOLPEAR
DEMORA HASTA GOLPEAR
GOLPEAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A SOLDADURA
DEMORA HASTA DOBLAR
DOBLAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A SOLDADURA
BOLSA SUPERIOR SUB 2
RECIBIDORES
DEMORA POR INSPECCIÓN
INSPECCIÓN
DEMORA POR TRANSPORTE
TRANSPORTE AL ALMACÉN
ALMACENAMIENTO
TRANSPORTE A FABRICACIÓN
CORTAR A LO LARGO
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A LIJADO
DEMORA HASTA LIJAR
LIJAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A GOLPEAR
DEMORA HASTA GOLPEAR
GOLPEAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A SOLDADURA
DEMORA EN SOLDADURA
SOLDAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A PINTURA
DEMORA HASTA PINTAR
COLGAR
EN EL TRANSPORTADOR
LIMPIAR
EN EL TRANSPORTADOR
SECAR
EN EL TRANSPORTADOR
PINTAR
EN EL TRANSPORTADOR
HORNEAR
EN EL TRANSPORTADOR
DESCOLGAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A EMPAQUE
EN CARRO
DEMORA EN SOLDADURA
SOLDAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A PINTURA
DEMORA HASTA PINTAR
COLGAR
EN EL TRANSPORTADOR
LIMPIAR
EN EL TRANSPORTADOR
SECAR
EN EL TRANSPORTADOR
PINTAR
EN EL TRANSPORTADOR
HORNEAR
EN EL TRANSPORTADOR
DESCOLGAR
DEMORA HASTA LLENAR EL CONTENEDOR
TRANSPORTE A EMPAQUE

Procedimiento paso a paso para preparar una gráfica de flujo del proceso

Paso 1. Comenzar con una gráfica de operaciones.
Paso 2. Completar una gráfica del proceso para cada parte.
Paso 3. Combinar la gráfica de las operaciones con la del proceso, y trabajar con todas las compras externas.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE FLUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA

Las computadoras y los paquetes de software más recientes pueden auxiliar en el diseño y el análisis de flujo de los materiales en las instalaciones de manufactura. El uso de esta tecnología le permite considerar y evaluar muchas configuraciones sin incurrir en la inversión del reacomodo físico de las instalaciones en la búsqueda por alcanzar un nivel óptimo de eficiencia y flujo de materiales. Una herramienta poderosa para analizar la distribución es FactoryFLOW, pues es capaz de integrar los planos de las instalaciones reales con las trayectorias de flujo del material y con los datos de la producción y el manejo de materiales. Como en el caso del método manual tradicional, los planeadores de instalaciones son los responsables de desarrollar y obtener los datos de entrada tales como estándares de tiempo, hojas de ruta y requerimientos del proceso y equipos. Con el uso de un programa compatible, FactoryCAD, se puede preparar un plano de las instalaciones que muestre la ubicación existente o propuesta de los diferentes centros de actividad. Al integrar los datos de las rutas con la información de la distribución, y emplear el flujo de los materiales como la medida clave de la eficiencia del diseño de la producción, el software permite que los diseñadores de las instalaciones comparen, evalúen y analicen diseños alternativos.

El software le permite incorporar una gran cantidad de datos, que van desde los volúmenes de producción y las rutas de las partes, hasta los costos fijos y variables del manejo de materiales. Es posible mirar la salida del análisis en un medio espacial, con la capacidad del diseñador para manipular parámetros en tiempo real que estudien y comparen escenarios diversos.

El software produce diagramas de trayectorias reales que muestran cómo viajan los materiales entre los distintos centros de actividad. El espesor de las líneas de flujo indica la frecuencia, y con ello el costo. Las rutas críticas, los cuellos de botella y la eficiencia del flujo se determinan con rapidez. Además de las ayudas visuales en línea, el software produce una variedad de reportes para analizar con detalle el costo de los movimientos individuales y combinados.

Al igual que cualquier herramienta computarizada, el sistema le permite investigar varios escenarios haciendo, con facilidad, cambios en la distribución, las rutas, los volúmenes de producción, los sistemas de manejo de materiales y muchas otras variables. Los resultados de dichos cambios se ven de inmediato y se obtiene un reporte. La capacidad de manipular fácilmente las variables del sistema le permiten:

- Rediseñar el flujo de materiales.
- Eliminar o reducir en forma significativa el manejo sin valor agregado.
- Reducir la distancia total que viaja la parte o producto.

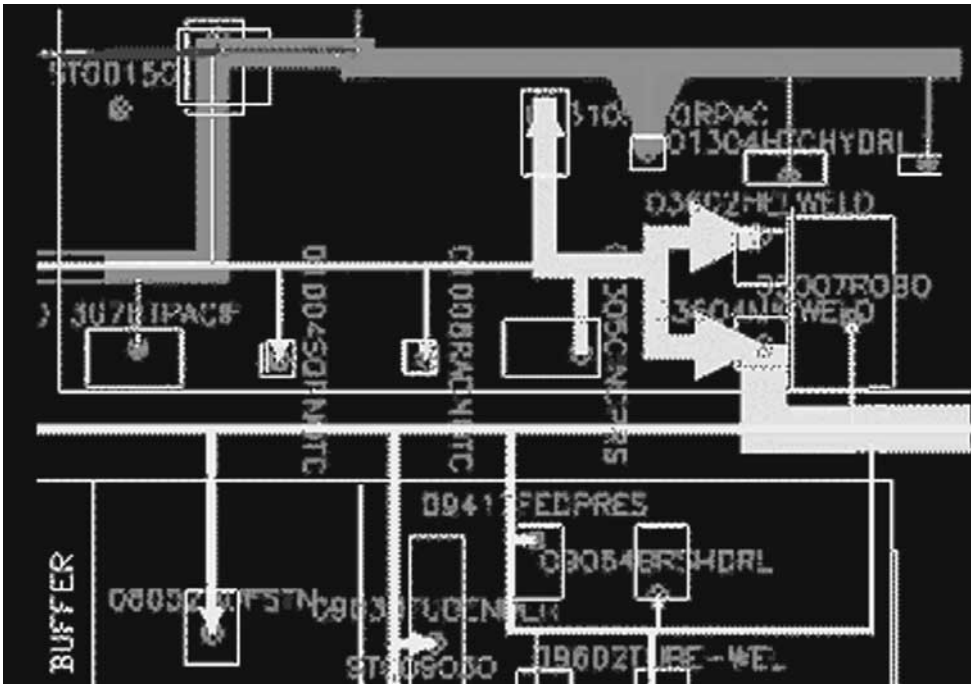


Figura 5-19 Líneas de flujo producidas por FactoryFLOW (cortesía de Engineering Animation, Inc.).

- Reducir los inventarios de trabajos en proceso.
- Evaluar sistemas alternativos de manejo de materiales.

FactoryFLOW produce líneas de flujo (vea la figura 5-19) que ilustran la distancia total de recorrido, las intensidades de movimiento y los costos. Además, el sistema genera datos numéricos para comparar trayectorias de flujo alternas, así como distintas distribuciones de áreas de máquinas y almacenamiento. La creación y evaluación de alternativas de distribución se consigue mediante el movimiento del equipo con el ratón haciendo que el sistema vuelva a calcular los resultados. Es fácil y rápido determinar las ubicaciones óptimas de las plataformas, los almacenes y los equipos.

La figura 5-20 ilustra la distribución propuesta para una planta de componentes automotrices que habría requerido más de $7 millones en maquinaria nueva y $1.2 millones en expansión del edificio. Al usar FactoryFLOW, los diseñadores fueron capaces de crear y evaluar varias alternativas. En sólo dos semanas pudieron obtener un flujo de materiales más centrado a fin de reducir el espacio y los requerimientos de herramientas, y expandirse con un ahorro de $3.2 millones en el costo. La figura 5-21 muestra la distribución rediseñada y las líneas del flujo mejoradas.

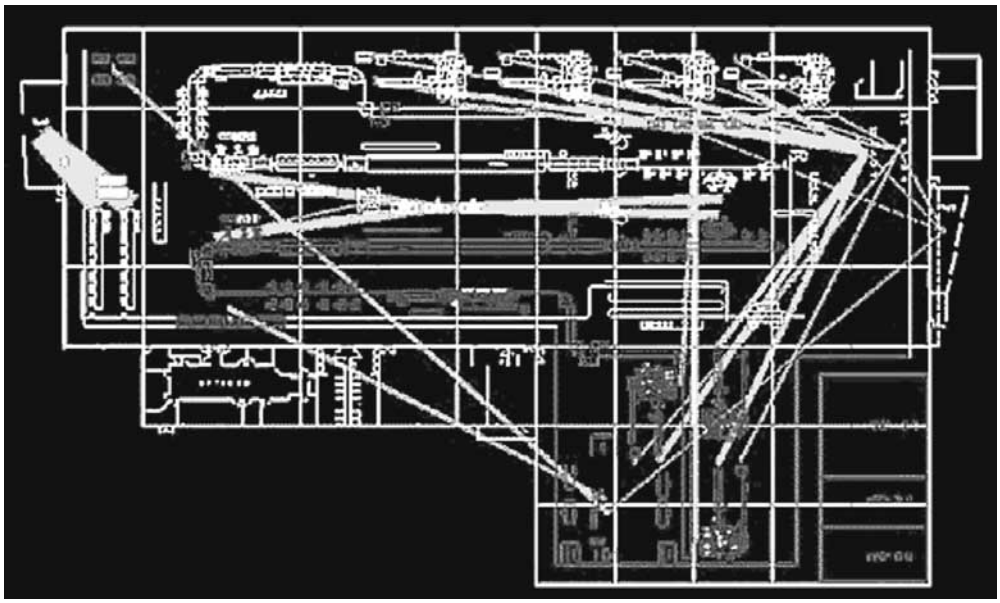


Figura 5-20 Distribución propuesta para una planta automotriz mediante FactoryFLOW (cortesía de Engineering Animation, Inc.).

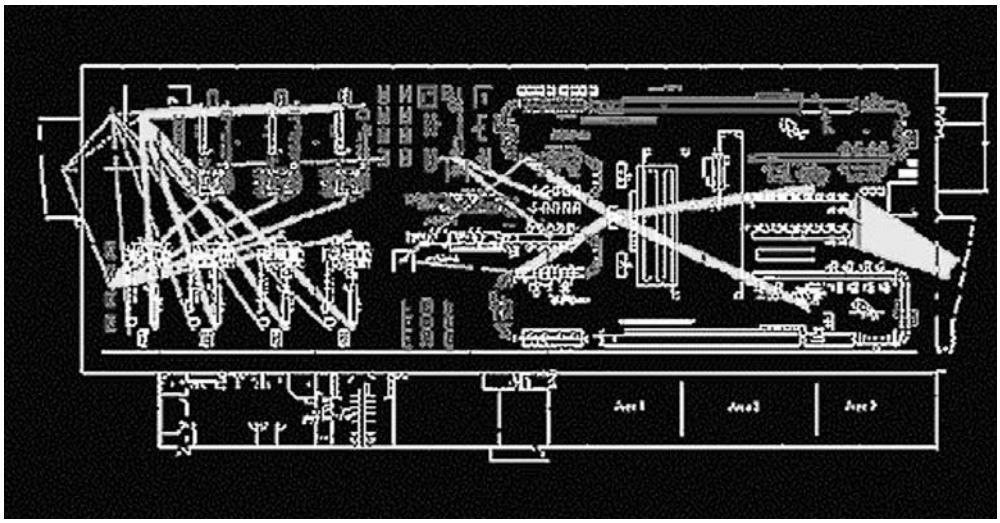


Figura 5-21 Distribución rediseñada con líneas de flujo mejorado mediante Factory-FLOW (cortesía de Engineering Animation, Inc.).

CONCLUSIÓN

El análisis de flujo conduce a obtener mejores distribuciones de la planta. Los objetivos del análisis de flujo son el aumento de la eficiencia y la eficacia y la reducción del costo. El análisis detallado del flujo de los materiales equipará al diseñador de la distribución con información crítica como: **1.** requerimientos de la operación, **2.** necesidades de manejo de materiales, **3.** necesidades de almacenamiento, **4.** requerimientos de inspección, y **5.** razones de las demoras.

Con esta información, el diseñador se enfrenta a:

1. Eliminar tantas etapas como sea posible.
2. Combinar etapas.
3. Reacomodar los equipos, para:
   a. eliminar el tráfico cruzado.
   b. eliminar los retrocesos.
   c. reducir la distancia de recorrido.
4. Reducir los costos de producción en general.

Las figuras 5-22, 5-23 y 5-24 son formatos en blanco que puede utilizar.

PREGUNTAS

1. Defina *línea de flujo.*

2. ¿Qué es lo que intenta hacer el análisis de flujo?

3. ¿Cuáles son los dos grupos básicos de técnicas de análisis de flujo?

4. ¿Cuáles son las técnicas de análisis para la manufactura de partes individuales?

5. Dibuje un diagrama de cuerdas, una tabla del proceso de columnas múltiples y una tabla de origen-destino, para las cuatro partes siguientes:

Núm. de parte	*Peso*	*Secuencia*
A	1	1 2 3 4 7
B	2	1 3 2 6 7
C	3	1 3 4 5 6 7
D	4	1 3 4 5 7

¿Cuál es la eficiencia de la tabla origen-destino?

6. Dibuje una gráfica del proceso para el cuerpo de la caja de herramientas que se muestra en la figura 4-1, con el uso del diagrama de flujo de la figura 5-14.

7. ¿Cuáles son las tres técnicas del flujo total de la planta?

8. Dibuje una gráfica de operaciones para su proyecto.

9. ¿Cuáles son las dos técnicas que combinan las gráficas de flujo del proceso?

10. ¿Por qué el análisis de flujo y el diseño son tan importante para los recursos humanos como para el material?

11. ¿Qué es FactoryFLOW y cuál es su objetivo?

12. ¿Cuáles son las ventajas del análisis de flujo asistido por computadora? ¿Cuáles son las posibles desventajas?

FRED MEYERS & ASSOCIATES TABLA DE PROCESO

☐ MÉTODO EXISTENTE ☐ MÉTODO PROPUESTO: _____ FECHA: _____ PÁGINA ___ DE _____

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:

DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:

RESUMEN	EXISTENTE		PROPUESTO		DIFERENCIA	
	NÚM.	HORA	NÚM.	HORA	NÚM.	HORA
○ OPERACIONES						
⇨ TRANSPORTE						
□ INSPECCIONES						
D DEMORAS						
▽ ALMACENAMIENTOS						
DISTANCIA RECORRIDA		PIES		PIES		PIES

ANÁLISIS:

POR QUÉ CUÁNDO
QUÉ QUIÉN
DÓNDE CÓMO

DIAGRAMA DE FLUJO ADJUNTO (IMPORTANTE)

REALIZADO POR:

PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIONES	DEMORAS	ALMACENAMIENTOS	DIST. EN PIES	CANTIDAD	HORA .00001 HORAS/UNIDAD	COSTO POR UNIDAD	CÁLCULOS DE TIEMPO/COSTO
1			○	⇨	□	D	▽					
2			○	⇨	□	D	▽					
3			○	⇨	□	D	▽					
4			○	⇨	□	D	▽					
5			○	⇨	□	D	▽					
6			○	⇨	□	D	▽					
7			○	⇨	□	D	▽					
8			○	⇨	□	D	▽					
9			○	⇨	□	D	▽					
10			○	⇨	□	D	▽					
11			○	⇨	□	D	▽					
12			○	⇨	□	D	▽					
13			○	⇨	□	D	▽					
14			○	⇨	□	D	▽					
15			○	⇨	□	D	▽					
16			○	⇨	□	D	▽					
17			○	⇨	□	D	▽					

Figura 5-22 Gráfica del proceso.

PASO	DETALLES DEL MÉTODO (PRESENTE)	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIONES	DEMORAS	ALMACE-NAMIENTOS	DIST. EN PIES	CANTIDAD	HORA .00001 HORAS/UNIDAD	COSTO POR UNIDAD	CÁLCULOS DE TIEMPO/COSTO
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												

Figura 5-23 Gráfica del proceso: reverso del formato en blanco.

TABLA ORIGEN-DESTINO

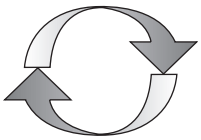
FECHA: _____ PLANTA: _____

ELABORADA POR: _____ PROJECTO: _____

CONCEPTOS QUE COMPRENDE: _____ BASES DE LOS VALORES: _____

OPERACIÓN DESTINO / OPERACIÓN ORIGEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTALES
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
TOTALES																					

Figura 5-24 Tabla origen-destino: formato en blanco.



PROYECTO EN LA PRÁCTICA

En este capítulo, acerca de las técnicas del análisis de flujo, usted fue introducido al conocimiento de cierto número de herramientas cualitativas y cuantitativas para diseñar y evaluar la eficiencia del flujo y el manejo de materiales a través de la instalación.

Al igual que con la hoja de ruta, cada parte que se fabrica requiere una gráfica de proceso que, además del proceso con valor agregado, también identifica las actividades que no agregan valor, como el almacenamiento, las demoras, el manejo de materiales, etcétera. El análisis de este capítulo pone de manifiesto que la gráfica del proceso es una herramienta valiosa para evaluar las etapas sin valor agregado, como el manejo excesivo de los materiales, las demoras y la elaboración de trabajos en proceso (TEP), y ayuda a reducir el desperdicio y a mejorar la eficiencia.

Gráfica del proceso

Nombre de la parte: Eje

Planta: Shade Tree Grills

Elaborado por: JMW

Fecha: 4/5/XX

Resumen total

○ Operación	2
⇨ Transporte	3
□ Inspecciones	1
D Demoras	3
▽ Almacenamientos	2
Etapas	11
Distancia	425 pies

Etapa #	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almace-namiento	Descripción del método	Método	Distancia	Cantidad que se mueve	Horas/ unidad	Costo/ unidad
1	●	⇨	□	D	▽	Recibir	Montacargas		5,000 lbs.	.50000	$5.70
2	○	⇨	□	◗	▽	Demora por inspección					
3	○	⇨	■	D	▽	Inspección	Visual			.03333	.38
4	○	⇨	□	◗	▽	Demora por transporte					
5	○	➡	□	D	▽	Transporte al almacén	Montacargas	75	5,000 lbs.	.08333	.95
6	○	⇨	□	D	▼	Almacenamiento					
7	○	➡	□	D	▽	Transporte a fabricación	Montacargas	100	5,000 lbs.	.08333	.95
8	●	⇨	□	D	▽	Cortar a lo largo	B800			.00275	.03
9	○	⇨	□	◗	▽	Demora hasta llenar el contenedor					
10	○	➡	□	D	▽	Transporte a empaque	Montacargas	250	1,500 pzas.	.08333	.95
11	○	⇨	□	D	▼	Almacenar en empaque	Montacargas		1,500 pzas.		
12	○	⇨	□	D	▽						
13	○	⇨	□	D	▽						
14	○	⇨	□	D	▽						
15	○	⇨	□	D	▽						
16	○	⇨	□	D	▽						
17	○	⇨	□	D	▽						
18	○	⇨	□	D	▽						
19	○	⇨	□	D	▽						
20	○	⇨	□	D	▽						
21	○	⇨	□	D	▽						
22	○	⇨	□	D	▽						
23	○	⇨	□	D	▽						
24	○	⇨	□	D	▽						
25	○	⇨	□	D	▽						
26	○	⇨	□	D	▽						
27	○	⇨	□	D	▽						
28	○	⇨	□	D	▽						
29	○	⇨	□	D	▽						
30	○	⇨	□	D	▽						
31	○	⇨	□	D	▽						
32	○	⇨	□	D	▽						
33	○	⇨	□	D	▽						
34	○	⇨	□	D	▽						
35	○	⇨	□	D	▽						
36	○	⇨	□	D	▽						
37	○	⇨	□	D	▽						
38	○	⇨	□	D	▽						
39	○	⇨	□	D	▽						
40	○	⇨	□	D	▽						

Shade Tree Grills

Gráfica del proceso

Nombre de la parte: Sostén del eje

Planta: Shade Tree Grills

Elaborado por: JRS

Fecha: 4/6/XX

Resumen total

○	Operación	4
⇨	Transporte	3
□	Inspecciones	1
D	Demoras	3
▽	Almacenamientos	2
	Etapas	13
	Distancia	425 pies

Etapa #	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almace-namiento	Descripción del método	Método	Distancia	Cantidad que se mueve	Horas/ unidad	Costo/ unidad
1	●	⇨	□	D	▽	Recibir acero en rollo	Montacargas		1	.50000	$5.70
2	○	⇨	□	◗	▽	Demora por inspección					
3	○	⇨	■	D	▽	Inspección	Visual			.33300	3.80
4	○	⇨	□	◗	▽	Demora					
5	○	➡	□	D	▽	Transporte al almacén	Montacargas	75	1	.08330	.95
6	○	⇨	□	D	▼	Almacenamiento					
7	○	➡	□	D	▽	Transporte a fabricación	Montacargas	100	1	.08330	.95
8	●	⇨	□	D	▽	Cortar	MNS300			.00055	.01
9	●	⇨	□	D	▽	Moldear	MNS300			.00055	.01
10	●	⇨	□	D	▽	Doblar	MNS300			.00055	.01
11	○	⇨	□	◗	▽	Demora hasta llenar el contenedor					
12	○	➡	□	D	▽	Transporte a empaque	Montacargas	250	1,500	.08330	.95
13	○	⇨	□	D	▼	Almacenar en empaque					
14	○	⇨	□	D	▽						
15	○	⇨	□	D	▽						
16	○	⇨	□	D	▽						
17	○	⇨	□	D	▽						
18	○	⇨	□	D	▽						
19	○	⇨	□	D	▽						
20	○	⇨	□	D	▽						
21	○	⇨	□	D	▽						
22	○	⇨	□	D	▽						
23	○	⇨	□	D	▽						
24	○	⇨	□	D	▽						
25	○	⇨	□	D	▽						
26	○	⇨	□	D	▽						
27	○	⇨	□	D	▽						
28	○	⇨	□	D	▽						
29	○	⇨	□	D	▽						
30	○	⇨	□	D	▽						
31	○	⇨	□	D	▽						
32	○	⇨	□	D	▽						
33	○	⇨	□	D	▽						
34	○	⇨	□	D	▽						
35	○	⇨	□	D	▽						
36	○	⇨	□	D	▽						
37	○	⇨	□	D	▽						
38	○	⇨	□	D	▽						
39	○	⇨	□	D	▽						
40	○	⇨	□	D	▽						

Shade Tree Grills

Gráfica del proceso

Nombre de la parte: Abrazadera inferior

Planta: Shade Tree Grills

Elaborado por: DJK

Fecha: 3/26/XX

Resumen total

○	Operación	6
⇨	Transporte	5
□	Inspecciones	1
D	Demoras	4
▽	Almacenamientos	2
	Etapas	18
	Distancia	350 pies

Etapa #	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacenamiento	Descripción del método	Método	Distancia	Cantidad que se mueve	Horas/ unidad	Costo/ unidad
1	●	⇨	□	D	▽	Recibir acero en rollo	Montacargas		1	.50000	$5.70
2	○	⇨	□	◗	▽	Demora por inspección					
3	○	⇨	■	D	▽	Inspección	Visual			.03330	.38
4	○	⇨	□	◗	▽	Demora por transporte					
5	○	➡	□	D	▽	Transporte al almacén	Montacargas	75	1	.08330	.95
6	○	⇨	□	D	▼	Almacenamiento					
7	○	➡	□	D	▽	Transporte a fabricación	Montacargas	100	1	.08330	.95
8	●	⇨	□	D	▽	Cortar	MNS300			.00055	.01
9	●	⇨	□	D	▽	Moldear	MNS300			.00055	.01
10	●	⇨	□	D	▽	Doblar	MNS300			.00055	.01
11	○	⇨	□	◗	▽	Demora hasta llenar el contenedor					
12	○	➡	□	D	▽	Transporte a perforación	Montacargas	50	1,500	.00410	.05
13	●	⇨	□	D	▽	Perforación	E2			.00278	.03
14	○	⇨	□	◗	▽	Demora hasta llenar el contenedor					
15	○	➡	□	D	▽	Transporte a pintura	Montacargas	75	1,500		
16	●	⇨	□	D	▽	Pintura	IR800			1	11.40
17	○	➡	□	D	▽	Transporte a empaque	Montacargas	50	1,500	.08330	.95
18	○	⇨	□	D	▼	Almacenar en empaque					
19	○	⇨	□	D	▽						
20	○	⇨	□	D	▽						
21	○	⇨	□	D	▽						
22	○	⇨	□	D	▽						
23	○	⇨	□	D	▽						
24	○	⇨	□	D	▽						
25	○	⇨	□	D	▽						
26	○	⇨	□	D	▽						
27	○	⇨	□	D	▽						
28	○	⇨	□	D	▽						
29	○	⇨	□	D	▽						
30	○	⇨	□	D	▽						
31	○	⇨	□	D	▽						
32	○	⇨	□	D	▽						
33	○	⇨	□	D	▽						
34	○	⇨	□	D	▽						
35	○	⇨	□	D	▽						
36	○	⇨	□	D	▽						
37	○	⇨	□	D	▽						
38	○	⇨	□	D	▽						
39	○	⇨	□	D	▽						
40	○	⇨	□	D	▽						

Shade Tree Grills

Gráfica del proceso

Nombre de la parte: Abrazadera superior

Planta: Shade Tree Grills

Elaborado por: DJK

Fecha: 3/26/XX

Resumen total

○	Operación	6
⇨	Transporte	5
□	Inspecciones	1
D	Demoras	3
▽	Almacenamientos	2
	Etapas	17
	Distancia	325 pies

Etapa #	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almace-namiento	Descripción del método	Método	Distancia	Cantidad que se mueve	Horas/ unidad	Costo/ unidad
1	●	⇨	□	D	▽	Recibir acero en rollo	Montacargas		1	.50000	$5.70
2	○	⇨	□	◗	▽	Demora por inspección					
3	○	⇨	■	D	▽	Inspección	Visual			.03330	.38
4	○	➡	□	D	▽	Transporte al almacén	Montacargas	75	1	.08330	.95
5	○	⇨	□	D	▼	Almacenamiento					
6	○	➡	□	D	▽	Transporte a fabricación	Montacargas	100	1	.08330	.95
7	●	⇨	□	D	▽	Cortar				.00055	.01
8	●	⇨	□	D	▽	Moldear				.00055	.01
9	●	⇨	□	D	▽	Doblar				.00055	.01
10	○	⇨	□	◗	▽	Demora hasta llenar el contenedor					
11	○	➡	□	D	▽	Transporte a soldadura	Montacargas	25	1,500	.08330	.95
12	●	⇨	□	D	▽	Soldadura	LR560				
13	○	⇨	□	◗	▽	Demora hasta llenar el contenedor					
14	○	➡	□	D	▽	Transporte a pintura	Montacargas	75	1,500	.08330	.95
15	●	⇨	□	D	▽	Pintura	IR800			.08330	11.40
16	○	➡	□	D	▽	Transporte a empaque	Montacargas	50	1,500	.08330	
17	○	⇨	□	D	▼	Almacenar en empaque					
18	○	⇨	□	D	▽						
19	○	⇨	□	D	▽						
20	○	⇨	□	D	▽						
21	○	⇨	□	D	▽						
22	○	⇨	□	D	▽						
23	○	⇨	□	D	▽						
24	○	⇨	□	D	▽						
25	○	⇨	□	D	▽						
26	○	⇨	□	D	▽						
27	○	⇨	□	D	▽						
28	○	⇨	□	D	▽						
29	○	⇨	□	D	▽						
30	○	⇨	□	D	▽						
31	○	⇨	□	D	▽						
32	○	⇨	□	D	▽						
33	○	⇨	□	D	▽						
34	○	⇨	□	D	▽						
35	○	⇨	□	D	▽						
36	○	⇨	□	D	▽						
37	○	⇨	□	D	▽						
38	○	⇨	□	D	▽						
39	○	⇨	□	D	▽						
40	○	⇨	□	D	▽						

Shade Tree Grills

Gráfica del proceso para la línea de empaque

Gráfica del proceso

Nombre de la parte:	Parrilla empacada
Planta:	Shade Tree Grills
Elaborado por:	RM
Fecha:	4/3/XX

Resumen total

○ Operación	46
⇨ Transporte	10
□ Inspecciones	2
D Demoras	0
▽ Almacenamientos	0
Etapas	58
Distancia	60 pies

Etapa #	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacenamiento	Descripción del método	Método	Distancia	Cantidad que se mueve
1	●	⇨	□	D	▽	Tomar retenedor	Manual		1
2	●	⇨	□	D	▽	Preparar retenedor	Manual		1
3	●	⇨	□	D	▽	Colocar retenedor en el transportador	Manual		1
4	●	⇨	□	D	▽	Sujetar parte inferior de la parrilla	Manual		1
5	●	⇨	□	D	▽	Colocar parte inferior de la parrilla en el retenedor	Manual		1
6	○	➡	□	D	▽	El retenedor se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
7	●	⇨	□	D	▽	Sujetar colector	Manual		1
8	●	⇨	□	D	▽	Poner colector en la parte inferior de la parrilla	Manual		1
9	●	⇨	□	D	▽	Sujetar plancha	Manual		1
10	●	⇨	□	D	▽	Colocar plancha en la parte inferior de la parrilla	Manual		1
11	●	⇨	□	D	▽	Sujetar escudo de calor	Manual		1
12	●	⇨	□	D	▽	Colocar escudo de calor en la parte inferior de la parrilla	Manual		1
13	○	➡	□	D	▽	El retenedor se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
14	●	⇨	□	D	▽	Sujetar conjunto del cinto	Manual		1
15	●	⇨	□	D	▽	Colocar conjunto del cinto en la parte inferior de la parrilla	Manual		1
16	●	➡	□	D	▽	Tomar fajillas de madera	Manual		4
17	●	⇨	□	D	▽	Colocar fajillas de madera en la parte inferior de la parrilla	Manual		4
18	●	⇨	□	D	▽	Sujetar conjunto del componente de plástico	Manual		1
19	●	⇨	□	D	▽	Colocar conjunto del componente de plástico en la parte inferior de la parrilla	Manual		1
20	○	➡	□	D	▽	El retenedor se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
21	○	⇨	■	D	▽	Efectuar inspección visual			1
22	●	⇨	□	D	▽	Sujetar parte superior de la parrilla	Manual		1
23	●	⇨	□	D	▽	Colocar parte superior de la parrilla sobre la inferior	Manual		1
24	○	➡	□	D	▽	El retenedor se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
25	●	⇨	□	D	▽	Sujetar ensambles de patas	Manual		2
26	●	⇨	□	D	▽	Colocar ensambles de patas alrededor de la parrilla	Manual		2
27	○	➡	□	D	▽	El retenedor se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
28	●	⇨	□	D	▽	Sujetar abrazaderas inferiores	Manual		2
29	●	⇨	□	D	▽	Insertar abrazaderas inferiores	Manual		2
30	●	⇨	□	D	▽	Sujetar panel de control	Manual		1
31	●	⇨	□	D	▽	Insertar panel de control	Manual		1
32	●	⇨	□	D	▽	Sujetar el sostén del tanque	Manual		1
33	●	⇨	□	D	▽	Insertar el sostén del tanque	Manual		1
34	○	➡	□	D	▽	El retenedor se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
35	●	⇨	□	D	▽	Sujetar eje y ruedas	Manual		2
36	●	⇨	□	D	▽	Insertar eje y ruedas	Manual		2
37	●	⇨	□	D	▽	Sujetar la manguera del gas	Manual		1

Shade Tree Grills

38	●	⇨	□	D	▽	Insertar la manguera del gas	Manual		1
39	○	➡	□	D	▽	El retenedor se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
40	○	⇨	■	D	▽	Efectuar inspección visual			1
41	●	⇨	□	D	▽	Envolver retenedor	Manual		1
42	●	⇨	□	D	▽	Colocar cinta al retenedor	Manual		1
43	○	➡	□	D	▽	El retenedor se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
44	●	⇨	□	D	▽	Sujetar caja	Manual		1
45	●	⇨	□	D	▽	Plegar caja	Manual		1
46	●	⇨	□	D	▽	Colocar cinta en la parte inferior de la caja	Manual		1
47	●	⇨	□	D	▽	Colocar la caja en el transportador	Manual		1
48	○	➡	□	D	▽	El retenedor se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
49	●	⇨	□	D	▽	Introducir ensamble del retenedor a la caja	Manual		1
50	●	⇨	□	D	▽	Sujetar paquete de instrucciones	Manual		1
51	●	⇨	□	D	▽	Insertar instructivo en la caja	Manual		1
52	○	➡	□	D	▽	La caja se mueve al operador siguiente	Transportador	6 pies	1
53	●	⇨	□	D	▽	Cerrar caja	Manual		1
54	●	⇨	□	D	▽	Colocar cinta en la parte superior de la caja cerrada	Manual		1
55	●	⇨	□	D	▽	Sujetar el reloj que imprime la fecha	Manual		1
56	●	⇨	□	D	▽	Imprimir la fecha en la caja	Manual		1
57	●	⇨	□	D	▽	Sujetar la caja	Manual		1
58	●	⇨	□	D	▽	Colocar la caja sobre la plataforma de transporte	Manual		1

Tabla de origen-destino

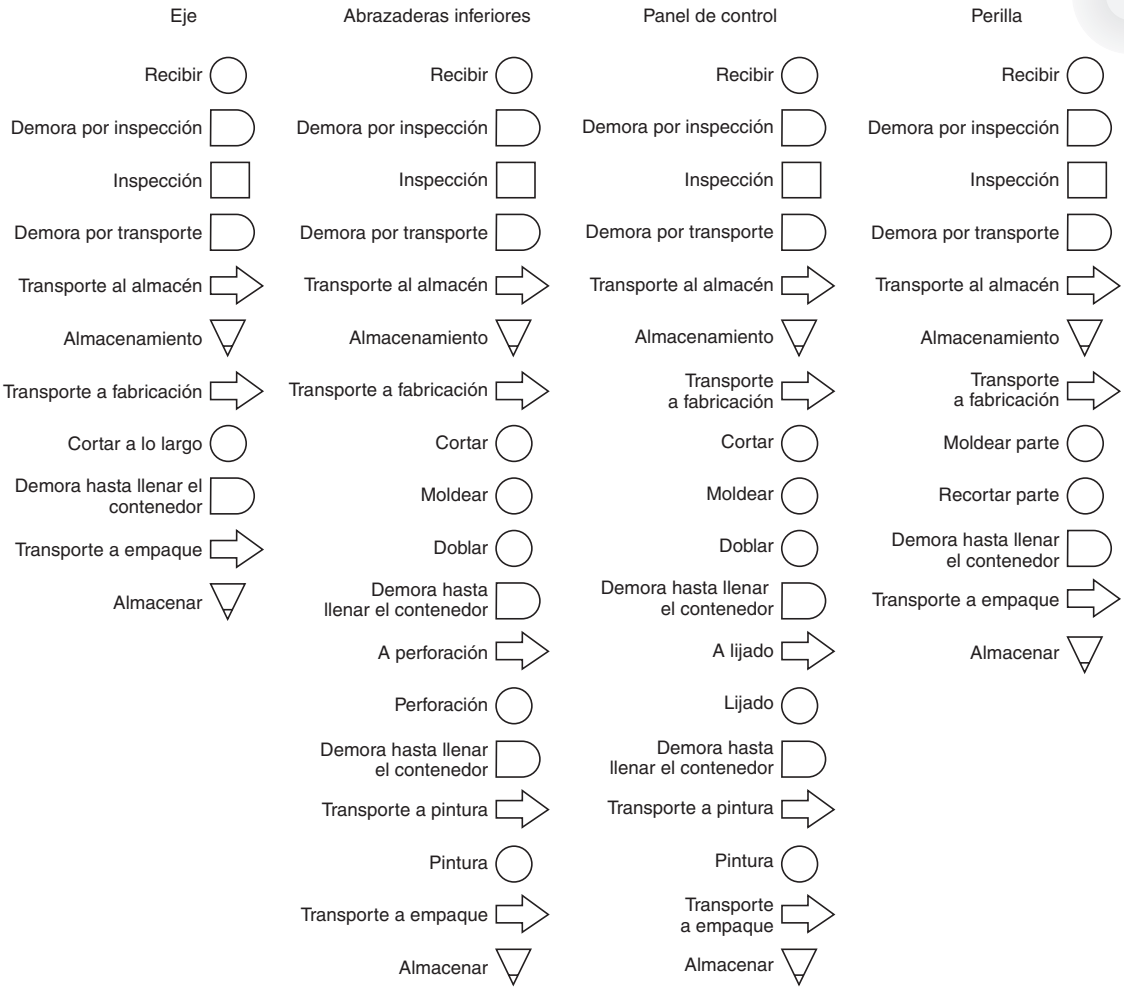
Origen \ Destino	Materia prima	Moldeado	Doblado	Perforado	Corte	Lijado	Soldadura	Moldeo por inyección	Almace-namiento	Total	Puntos de penalización
Materia prima		4, 4, 2, 4 (14)			1, 5, 2 (32)			1, 1, 1 (21)		25	67
Moldeado			4, 4, 2, 4 (14)							14	14
Doblado				4, 2 (6)		4, 5 (27)	4 (16)			19	49
Perforado			5 (10)			2 (4)			4, 2 (30)	13	44
Corte				5, 2 (14)					1 (4)	8	18
Lijado							5 (5)		4, 2 (18)	11	23
Soldadura									4, 5 (18)	9	18
Moldeo por inyección									1, 1, 1 (3)	3	3
Almace-namiento											
										102	236

Nombre de la parte	Núm. de parte	Rutas (secuencia de operación)	Peso
Eje	STG11	RM C S	1
Abrazadera inferior	STG9	RM ST B D S	4
Panel de control	STG12	RM ST B DB S	4
Perilla	STG13	RM M S	1
Patas	STG4	RM C D B DB W S	5
Extensiones de las patas	STG6	RM M S	1
Fajillas de madera	STG7	RM C D DB S	2
Sostén del tanque	STG10	RM ST B D S	2
Abrazadera superior	STG8	RM ST B W S	4
Tubos de inserción	STG5	RM M S	1

Nota: eficiencia $= \frac{102}{236} = 43.22$ por ciento

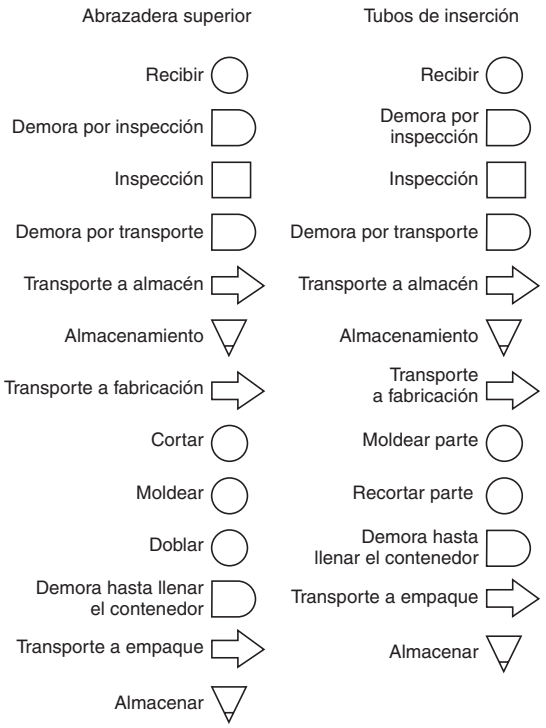
Shade Tree Grills

Gráfica de flujo del proceso



Shade Tree Grills

Shade Tree Grills



Shade Tree Grills

CAPÍTULO

6

Análisis de la relación de actividades

En el capítulo 5 se estudió el flujo de la manufactura, pero con objeto de lograr un flujo conjunto adecuado también deben incluirse otros departamentos, servicios e instalaciones. Los materiales fluyen de la recepción a los almacenes, las bodegas y los envíos. La información fluye entre las oficinas y el resto de la instalación, y las personas se mueven de un lugar a otro. Cada departamento, oficina e instalación de servicio debe situarse de manera apropiada en relación con las demás. Las técnicas que se exponen en este capítulo ayudarán a establecer la ubicación óptima de todo aquello que requiere espacio. A veces se necesita muy poco de éste; por ejemplo, la ubicación de la entrada para empleados es importante para la trayectoria del flujo de trabajadores. Una trayectoria común del flujo de los operadores cuando arriban al trabajo es la siguiente: de la entrada para empleados al reloj, de éste a los casilleros (*lockers*), luego a la cafetería y al área de trabajo. Las técnicas que se estudiarán en este capítulo son:

1. Diagrama de la relación de actividades.
2. Hoja de trabajo.
3. Diagrama adimensional de bloques.
4. Análisis de flujo.

Estas técnicas ayudarán al planeador de instalaciones a situar cada departamento, oficina y área de servicios en la ubicación apropiada. El objetivo es satisfacer tantas relaciones importantes como sea posible a fin de crear la distribución más eficiente posible. Los servicios auxiliares (de apoyo a la manufactura), personales (sanitarios, cafeterías, etcétera) y de oficinas para todos aquellos que los necesitan, serán el tema de estudio de este capítulo, pero se analizarán con mucho más detalle en los capítulos 8, 9 y 12. Las cuatro técnicas que se estudian aquí son secuenciales. El diagrama de la relación de actividades se traslada a una hoja de trabajo, y ésta se usa para dibujar el diagrama adimensional de bloques. Luego, el análisis de flujo se dibuja en el diagrama adimensional de bloques.

DIAGRAMA DE LA RELACIÓN DE ACTIVIDADES

El *diagrama de la relación de actividades*, al que también se le da el nombre de *diagrama de análisis de afinidades*, muestra las relaciones de cada departamento, oficina o área de servicios, con cualquier otro departamento y área (vea la figura 6-1). Responde a la pregunta: ¿Qué tan importante es para este departamento, oficina o instalación de servicios, estar cerca de otro departamento, oficina o instalación de servicios? Este cuestionamiento necesita plantearse en forma imprescindible. Se usan códigos de cercanía para reflejar la importancia de cada relación. Como persona nueva o consultor externo, necesita hablar con muchas personas a fin de determinar dichos códigos, y una vez establecidos, se determina casi todo el acomodo de los departamentos, oficinas y áreas de servicio. Los códigos son los siguientes:

Código	*Definición*
A	Absolutamente necesario que estos dos departamentos estén uno junto al otro
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinariamente importante
U	Sin importancia
X	No deseable

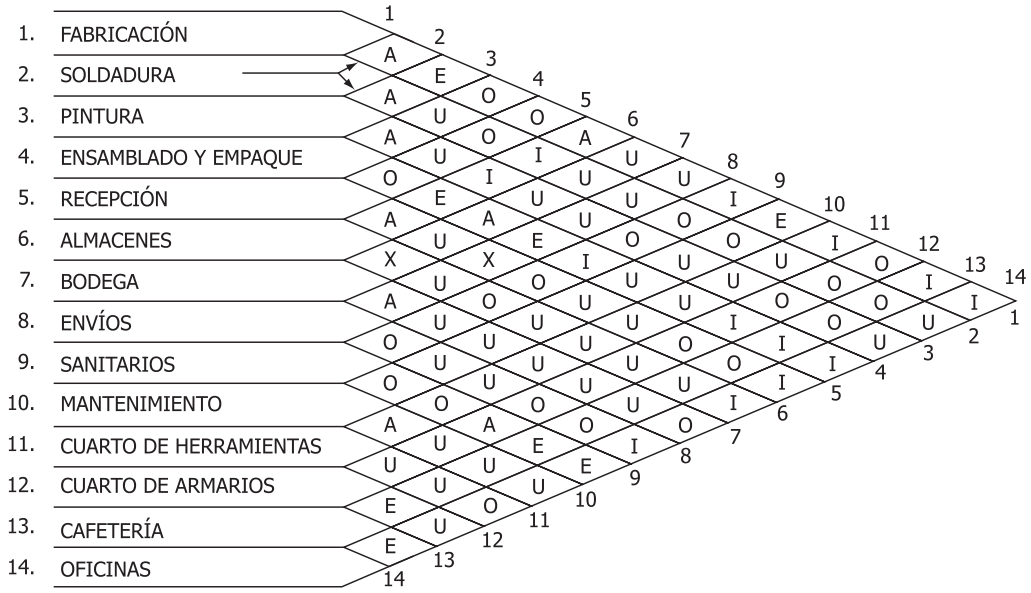


Figura 6-1 Diagrama de relación de actividades.

El código A debe restringirse al movimiento de cantidades masivas de material entre departamentos. Por ejemplo, la bodega del acero que se recibe y el departamento de corte, en manufactura, es un código A. Por la misma razón, el departamento de recepción del acero debe estar junto a la bodega de acero. También podría clasificarse con código A la necesidad de que números importantes de personas se trasladaran; por ejemplo, el mantenimiento y el almacén de herramientas y suministros están en el código A. No obstante, hay que ser parco en el uso de este código de importancia máxima; de otro modo se convertiría en algo de poca utilidad. Se encontrará que es difícil manejar más de ocho códigos A dentro de un departamento. A veces pueden combinarse dos departamentos, oficinas o instalaciones de servicio en la misma línea, como la línea 4 de la figura 6-1 (ensamblado y empaque). Esto es como un súper código A. El mantenimiento y la sala de herramientas, y los sanitarios y los *lockers*, son otros ejemplos de departamentos e instalaciones de servicio, respectivamente, que no debieran separarse.

Si hubiera alguna duda de que se trate de un código A, use el E. Éste denota que se mueve mucho material o gran cantidad de personas entre los dos departamentos, pero no todo o todas lo hacen al mismo tiempo. Por ejemplo, todos necesitan ir al sanitario o al comedor, pero no en todo momento, por lo que un código E sería apropiado para departamentos con varios individuos. Los departamentos con poco personal tienen las mismas necesidades, pero debido a la menor cantidad de gente, hay menos necesidad de situarla cerca de los servicios. Una forma interesante de estudiar la ubicación de una instalación de servicio, como los sanitarios, es imaginar que se une con una banda elástica a cada empleado con el sanitario, con lo que cada persona tira de éste hacia él o ella. Si sólo se tuviera a dos personas, las bandas colocarían los sanitarios a mitad del camino entre las dos personas. Con muchas personas esto sólo es un poco más complicado.

Los códigos I y O se usan si se desea algún nivel de importancia, pero dichos códigos no son tan útiles como los otros. No es buena idea omitirlos, al menos en los primeros diseños de distribuciones.

El código U es útil porque informa que no se necesita actividad o interfaz entre dos departamentos. Éstos pueden colocarse lejos uno del otro.

Los códigos X son tan importantes como los A, pero por la razón opuesta. Por ejemplo, si el departamento de pintura se localiza junto al de soldadura es posible que ocurra una explosión. El ruido, olores, calor, polvo, frío, y otras características parecidas, son razones buenas para asignar un código X.

Asegúrese de que comprende el diagrama de relación de actividades de la figura 6-1. Por ejemplo, el código de cercanía para la relación entre pintura y el cuarto de herramientas es una U. ¿Lo ve? En relación con la figura 6-1, ¿cuáles son los códigos de cercanía para los departamentos siguientes?

1. Fabricación y almacenes.
2. Pintura y fabricación.
3. Almacenes y bodega.
4. Mantenimiento y oficinas.

Las respuestas a estas preguntas se presentan al final de esta sección.

A continuación se presenta un procedimiento paso a paso para desarrollar un diagrama de relación de actividades:

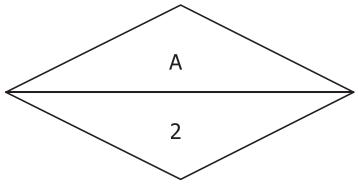
1. Enliste todos los departamentos en una columna vertical, en el lado izquierdo del formato. En la figura 6-1 se presenta un ejemplo.

2. Se inicia con la línea 1 (fabricación) para establecer el código de relación para cada departamento de los que siguen. Esto requiere la comprensión de todos los departamentos y actitudes de la administración, y la determinación de producir la distribución más eficiente posible.

3. Los códigos de razón pueden utilizarse como asteriscos. Por ejemplo, ¿no se quiere que los envíos y la recepción estén cerca uno del otro? ¿Por qué? Se escribiría un *1* debajo de la X en la intersección 5-8 abajo del código de relación de actividades. Abajo del diagrama se escribiría un código de razones, así:

Código de razón	*Razón*
1	Para un flujo mejor
2	Todo el material se mueve entre estos dos departamentos
3	Movimiento de personas
etcétera	etcétera

Por ejemplo, si en el renglón 5-6 de la figura 6-1 hubiera una cercanía de A con código de razón 2, se vería así:



A la semana siguiente alguien podría preguntar: "¿Por qué clasificaste este código como A?" Sin códigos de las razones no se recordaría el porqué. Los códigos de razón no se usan siempre, pero es frecuente que sean de utilidad. El formato que se muestra en la figura 6-11 los emplea y es un ejemplo mejor que la figura 6-1. Ésta sólo es un ejemplo para la enseñanza de los códigos de cercanía.

Las respuestas a las gráficas de relación de actividades para la figura 6-1, son las siguientes:

1. A.
2. E.
3. X.
4. U.

Determinación del código de relación

Los códigos de relación o afinidad establecen el grado de cercanía que se desea para dos centros de actividad. Cada código puede desagregarse en componentes cualitativo y cuantitativo, a fin de facilitar la asignación de códigos.

El componente cuantitativo de la relación entre dos departamentos o centros de trabajo puede basarse en el flujo real de material. En la determinación de códigos de relación

apropiados son de gran ayuda las consideraciones acerca de cuántas partes por día, o qué cantidad de partes diferentes, o cuántas toneladas de material se mueven entre los dos centros. Entre los dos códigos de actividad se dibujan líneas de flujo para ilustrar el movimiento de las partes o personas. El número de líneas o intensidad del flujo indicarían, entonces, el grado de cercanía que se desea. Un esquema de numeración o ponderación consiste en asignar valores arbitrarios a los códigos de relación, como sigue: A = 4, E = 3, I = 2, y O = 1. Si se usa la misma escala, puede evaluarse la intensidad de las líneas de flujo entre los centros.

El componente cualitativo para asignar códigos de relación se basa en la opinión de los expertos y el criterio de los individuos acerca de dónde deben ubicarse dos departamentos o centros, uno en relación con el otro, y para asignar un número relativo a la relación. Para mantener todo sencillo y también evitar la posibilidad de que los criterios relacionados con el flujo y los no relacionados se opaquen entre sí, es aconsejable usar la misma escala de calificación. El promedio de calificaciones de la combinación de las actividades que se relacionan y las que no se relacionan con el flujo, proporciona una guía razonablemente clara para asignar los códigos de relación de actividades o afinidad.

Para el inexperto, y con frecuencia también para el experto en planeación, es tentador sobreestimar la relación entre los centros de trabajo y asignar en exceso códigos A, en particular. El enfoque del análisis de Pareto es de utilidad para asignar códigos de relación. Una regla práctica dice que no deben excederse los porcentajes siguientes para un código dado:

Código	*Porcentaje*
A	5
E	10
I	15
O	25

Es probable que las relaciones restantes se asignen como U, con excepción, por supuesto, del caso en que se considera necesario un código X.

El número total de relaciones, *N*, entre todos los pares de centros de trabajo en cualquier instalación se determina con la fórmula:

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

donde n = número de departamentos o centros de trabajo en la instalación. Por ejemplo, para una instalación con 25 departamentos o centros de trabajo diferentes,

$$N = \frac{25(25-1)}{2} = 300 \text{ } \textit{total de códigos de relación}$$

Con el uso de la regla práctica que se mencionó, en este caso el planeador de las instalaciones debe tener no más de 15 relaciones con código A (300×5 por ciento = 15). En forma similar, es razonable esperar que el número de códigos E e I no pase de 30 y 45, respectivamente.

HOJA DE TRABAJO

La *hoja de trabajo* es una etapa intermedia entre el diagrama de relación de actividades y el diagrama adimensional de bloques. La hoja de trabajo reemplazará al diagrama de relación de actividades. También interpreta éste y obtiene los datos básicos para elaborar el diagrama adimensional de bloques.

A continuación se presenta el procedimiento paso a paso para hacer la hoja de trabajo (vea la figura 6-2):

1. Enliste todas las actividades en el lado izquierdo de una hoja de papel.
2. Haga seis columnas a la derecha de las actividades y denomínelas A, E, I, O, U y X (códigos de relación).
3. Tome una actividad a la vez (departamento, oficina o instalación de servicios), y enliste el (los) número(s) de actividad bajo el código de relación apropiado. Aquí serán útiles dos puntos:
   a. Asegúrese de que en cada renglón aparezcan todos los números de las actividades (deben aparecer del 1 al 14 en algún lugar de cada renglón).
   b. Los códigos de relación para un centro de actividad se enlistan abajo, así como arriba del nombre de la actividad, como lo indican las flechas de dirección de la figura 6-1. Por ejemplo, el código de relación para el renglón 2 (soldadura) con el de fabricación es A y se localiza en la coordenada 1-2.

La hoja de trabajo de relación de actividades muestra las mismas relaciones que el diagrama de relación de actividades.

DIAGRAMA ADIMENSIONAL DE BLOQUES

El *diagrama adimensional de bloques* es el primer intento de distribución y resultado de la gráfica de relación de actividades y la hoja de trabajo. Aun cuando esta distribución es adimensional, será la base para hacer la distribución maestra y el dibujo del plan. Una vez que se

Actividades	*A*	*E*	*I*	*O*	*U*	*X*
1. Fabricación	2, 6	3, 10	9, 11, 13, 14	4, 5, 12	7, 8	
2. Soldadura	1, 3		6	9, 10, 12, 13, 5	7, 8, 4, 11, 14	
3. Pintura	2, 4	1	6	12, 13, 9	5, 7, 8, 10, 11, 14	
4. Ensamblado y empaque	3, 7	6, 8	9, 12, 13, 14	1, 5	2, 10, 11	
5. Recepción	6		14	4, 2, 1, 9, 12, 13	3, 7, 10, 11	8
6. Almacenes	5, 1	4	3, 2, 14	9	8, 10, 11, 12, 13	7
7. Bodega	4, 8			14	5, 3, 2, 1, 9, 10, 11, 12, 13	6
8. Envíos	7	4	14	9, 12, 13	6, 3, 2, 1, 10, 11	5
9. Sanitarios	12	13, 14	4, 1	8, 6, 5, 11, 3, 2, 10	7	
10. Mantenimiento	11	1		9, 2	8, 7, 6, 5, 4, 3, 12, 13, 14	
11. Cuarto de herramientas	10		1	9, 14	8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 12, 13	
12. Cuarto de armarios	9	13	4	8, 5, 3, 2, I	11, 10, 7, 6, 14	
13. Cafetería		14, 12, 9	4, 1	8, 5, 3, 2	10, 11, 7, 6	
14. Oficina		13, 9	8, 6, 5, 4, 1	11, 7	12, 10, 2, 3	

Figura 6-2 Hoja de trabajo de relación de actividades.

ha determinado el tamaño de cada departamento, oficina e instalación de apoyo, se asignará espacio a cada actividad por medio de la distribución del diagrama adimensional de bloques. En el capítulo 13 se estudiará a profundidad la asignación del área. Si se obedecen los códigos de las actividades resultará una buena distribución. Es más difícil basarse en el diagrama adimensional de bloques cuando se dispone de tamaños exactos, porque los departamentos grandes tienden a tener más relaciones A y E que los pequeños, y en sus fronteras tienen muchos más departamentos (actividades). Enseguida se presenta un procedimiento paso a paso para elaborar el diagrama adimensional de bloques:

1. Corte una hoja de papel en cuadrados de 2 pulgadas de lado (para este ejemplo se necesitan 14 cuadrados).
2. Escriba un número de actividad en el centro de cada cuadrado (en este ejemplo, de 1 a 14).
3. Tome un cuadrado a la vez y con él construya una plantilla para esa actividad, con la colocación de los códigos de relación en las posiciones siguientes (vea la figura 6-3):
   a. En la esquina superior izquierda, una actividad con código A.
   b. Una relación con código E en la esquina superior derecha.
   c. En la esquina inferior izquierda debe ir una relación cuyo código sea I.
   d. Las relaciones que tengan código O deben ir en la esquina inferior derecha.
   e. Se omiten las relaciones de código U.
   f. En el centro van las relaciones X, debajo del número de actividad.
4. Cada centro de actividad está representado por un cuadrado (vea la figura 6-4).
5. Una vez que están listas las 14 plantillas, se les coloca en el arreglo que satisfaga tantos códigos de actividad como sea posible. Comience con la actividad con los códigos de cercanía más importantes. Por ejemplo, en la figura 6-2, las actividades 1 y 4 tienen dos códigos A y dos códigos E. Hay que comenzar con cualquiera de esas actividades. Sitúe la plantilla que elija en medio de su escritorio. Mire los códigos A, encuentre las plantillas de

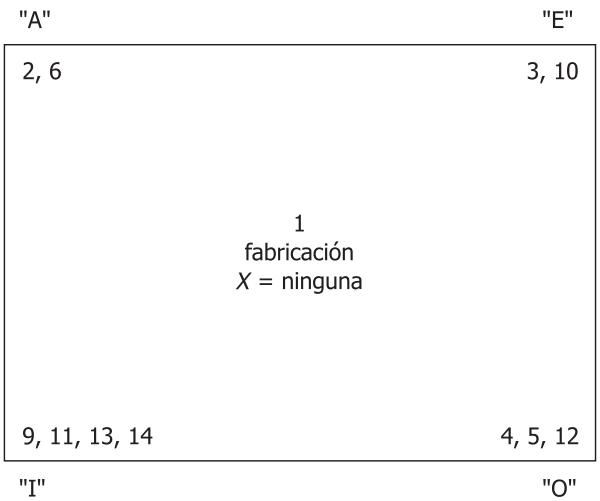


Figura 6-3 Un cuadrado representa al departamento de fabricación.

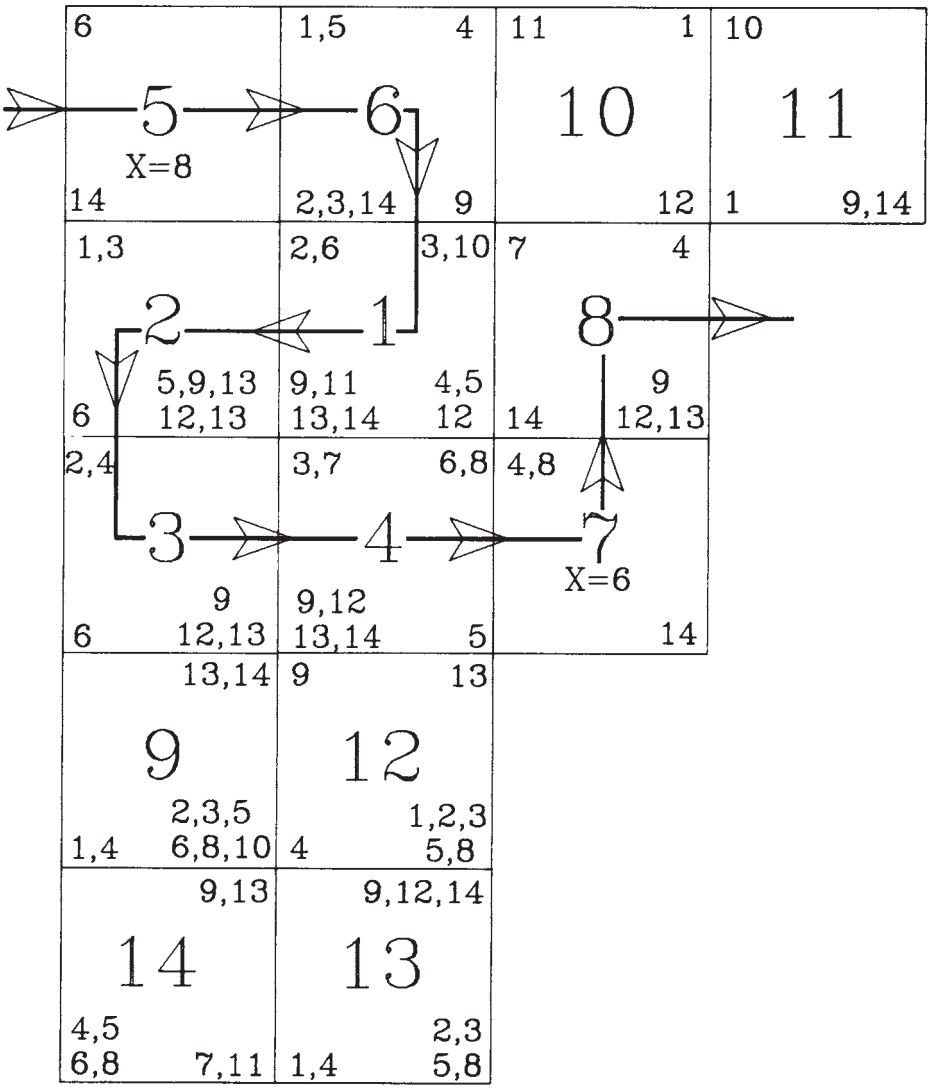


Figura 6-4 Diagrama adimensional de bloques.

dichas actividades que tengan código A y colóquelas adyacentes al cuadrado que representa la primera, con un lado en contacto con éste. En el ejemplo que aparece en la figura 6-3, tome la plantilla de la actividad 1 (fabricación) y colóquelo en medio de su escritorio. Ahora tome las plantillas 2 y 6 (porque tienen una relación A con 1). Coloque la plantilla 2 en cualquiera de los lados de la plantillas 1, y asegúrese que sus lados estén en contacto. También ponga la plantilla 6 donde tenga un lado completo con 1, pero observe que también necesita estar cerca de (tiene una relación con código I) la plantilla 2, por lo que se permite que una de sus esquinas tenga contacto con ésta. Ahora ya tiene tres plantillas (activida-

des) en posición. Continúe tomando más relaciones con código A y sitúelas donde satisfagan la mayoría de relaciones de la actividad, hasta que haya considerado todos los departamentos. Si se tiene más de un lugar donde colocar una plantilla, considere las relaciones (vea la figura 6-4) menos importantes (códigos E, I, y O). Debido a que ésta es una distribución adimensional, la forma no tiene importancia. Podrían tenerse todas las actividades en una línea, o con espacios en blanco en cualquier sitio. La carencia de dimensión también significa falta de forma. Lo único importante es satisfacer las relaciones.

Todos los códigos A tienen un lado completo en contacto. Todos los E deben tener al menos una esquina en contacto. Ninguna que tenga código X debe estar en contacto.

Haga dos marcas en las A que no estén en contacto o en las X con un lado completo en contacto; haga una marca para las A con sólo una esquina en contacto, con una X que toque una esquina, o con una E que no toque al menos una esquina. Trate de acomodar todos los códigos A, E y X. Cuando pueda use los códigos I, pero por lo general hay más que suficientes códigos importantes, por lo que los I y O rara vez se utilizan. Es probable que observe que los códigos U no tienen ningún lugar en la plantilla, y si no fuera por la capacidad de verificar por usted mismo que se ha incluido toda actividad, podrían dejarse fuera las relaciones sin importancia.

¿Cuántas marcas encontró? Entre menos haya, mejor. En este ejemplo, 6-4 tiene una, y 4-6 tiene otra.

ANÁLISIS DE FLUJO

Ahora se realiza el análisis de flujo en el diagrama adimensional de bloques. Se comienza con la recepción para mostrar el movimiento de material a los almacenes, fabricación, soldadura, pintura, ensamblado y empaque, a la bodega y a envíos. El análisis de flujo garantizará que las relaciones importantes se mantengan y que la distribución que hizo tenga sentido. No se querría que el material fluyera a través de la esquina de un departamento, o que saltara sobre uno o más departamentos. Asimismo, no se desearía que los envíos o la recepción se localizaran en medio del edificio.

Las figuras 6-5 a 6-7 (pp. 189-191) proporcionan formatos en blanco para que los use según su conveniencia.

TABLA DE RELACIÓN DE ACTIVIDADES GENERADA POR COMPUTADORA

Como se dijo en los capítulos anteriores, se dispone de paquetes modernos de computación que auxilian a los planeadores para que logren una solución óptima, o al menos cerca del óptimo, de un problema de distribución. Un área en la que los planeadores gozan de los beneficios de las herramientas para hacer distribuciones por medio de computadora, es en la generación de gráficas de relación de actividades y el diagrama de bloques resultante.

Uno de dichos paquetes es FactoryPLAN, que por medio de una serie de menús interactivos y cuadros de diálogo en la pantalla, auxilia al usuario en el arreglo de la distribución, con base en las calificaciones de la cercanía entre parejas de centros de actividad o áreas de trabajo. El paquete puede usarse para hacer la distribución de una instalación de manufactura con líneas discretas de productos, con el uso de datos basados en el flujo del material, interacciones del personal, equipo que se comparte y varias razones más. El análisis se lleva a cabo en tres etapas:

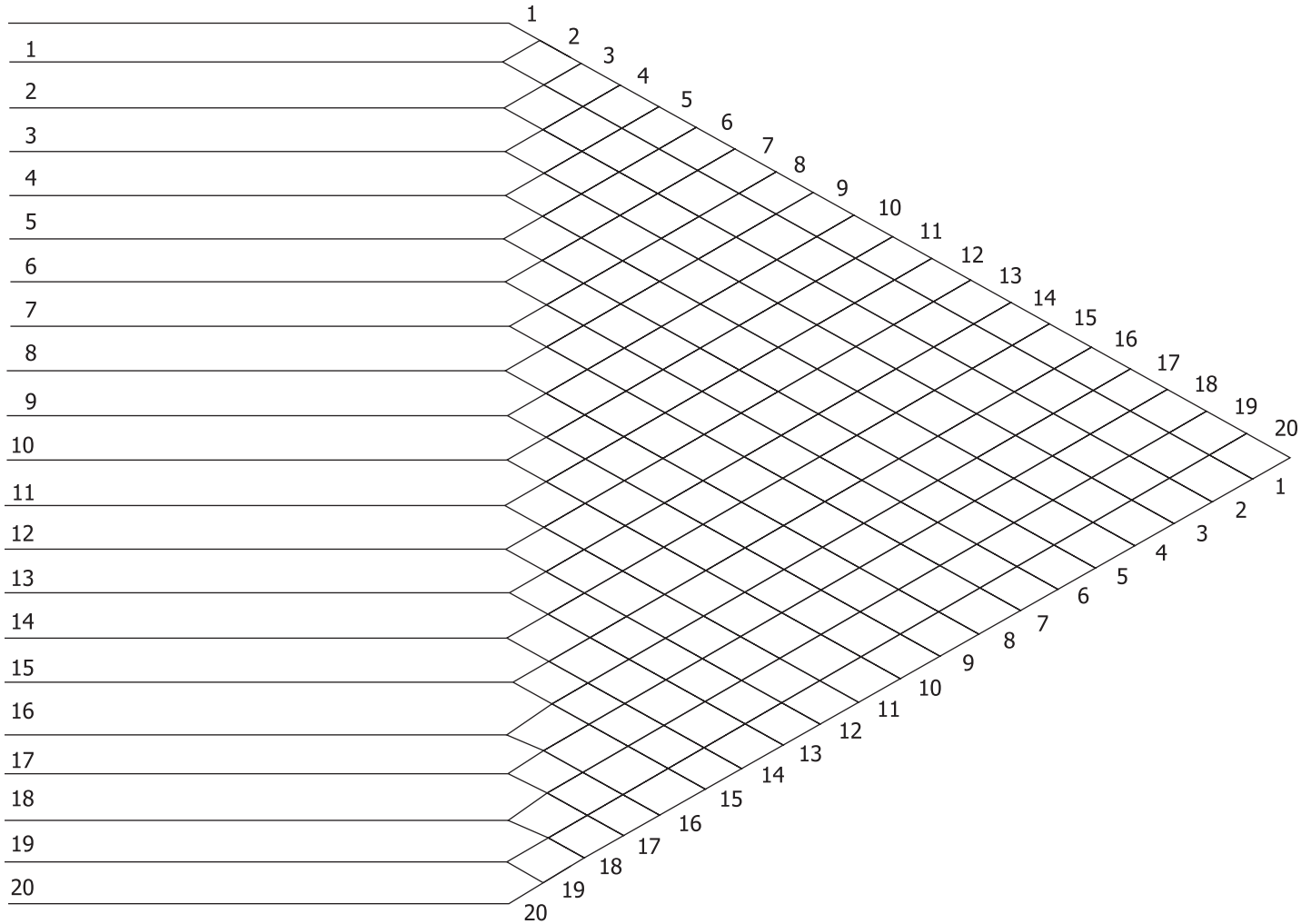


Figura 6-5 Formato en blanco del diagrama de relación de actividades.

Actividad		*Grado de cercanía*					
		A	*E*	*I*	*O*	*U*	*X*
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							
16.							
17.							
18.							
19.							
20.							

Figura 6-6 Hoja de trabajo para la gráfica de relaciones de actividades: formato en blanco.

- Crear un archivo de datos que contenga los nombres de los centros de actividad. En este punto, el usuario puede también introducir el tipo de actividad, tal como manejo de materiales, inspección, oficina, y cualquiera que tenga lugar en este centro. El usuario también tiene la opción de especificar el espacio que se requiere para el centro.
- Una vez que se terminó la lista, se pide que el usuario especifique el código de afinidad y de razón entre parejas entre centros de trabajo. Igual que con el método manual, es responsabilidad del planeador de las instalaciones, con base en los datos disponibles, determinar el grado deseable de cercanía entre centros de trabajo, y dar un código de la razón por la que se requiere dicha proximidad. La figura 6-8 muestra el menú para introducir el código de relación entre fabricación y soldadura. Como se aprecia en la figura, se establecen los códigos A y 2, para cercanía y razón. Una vez que se establecieron las relaciones entre la fabricación y otros centros, el siguiente de éstos se selecciona de manera automática de modo que puede llenarse el código entre dichos departamentos.
- La tercera etapa del análisis consiste en generar la gráfica de relación de actividades y los diagramas de trayectorias de flujo.

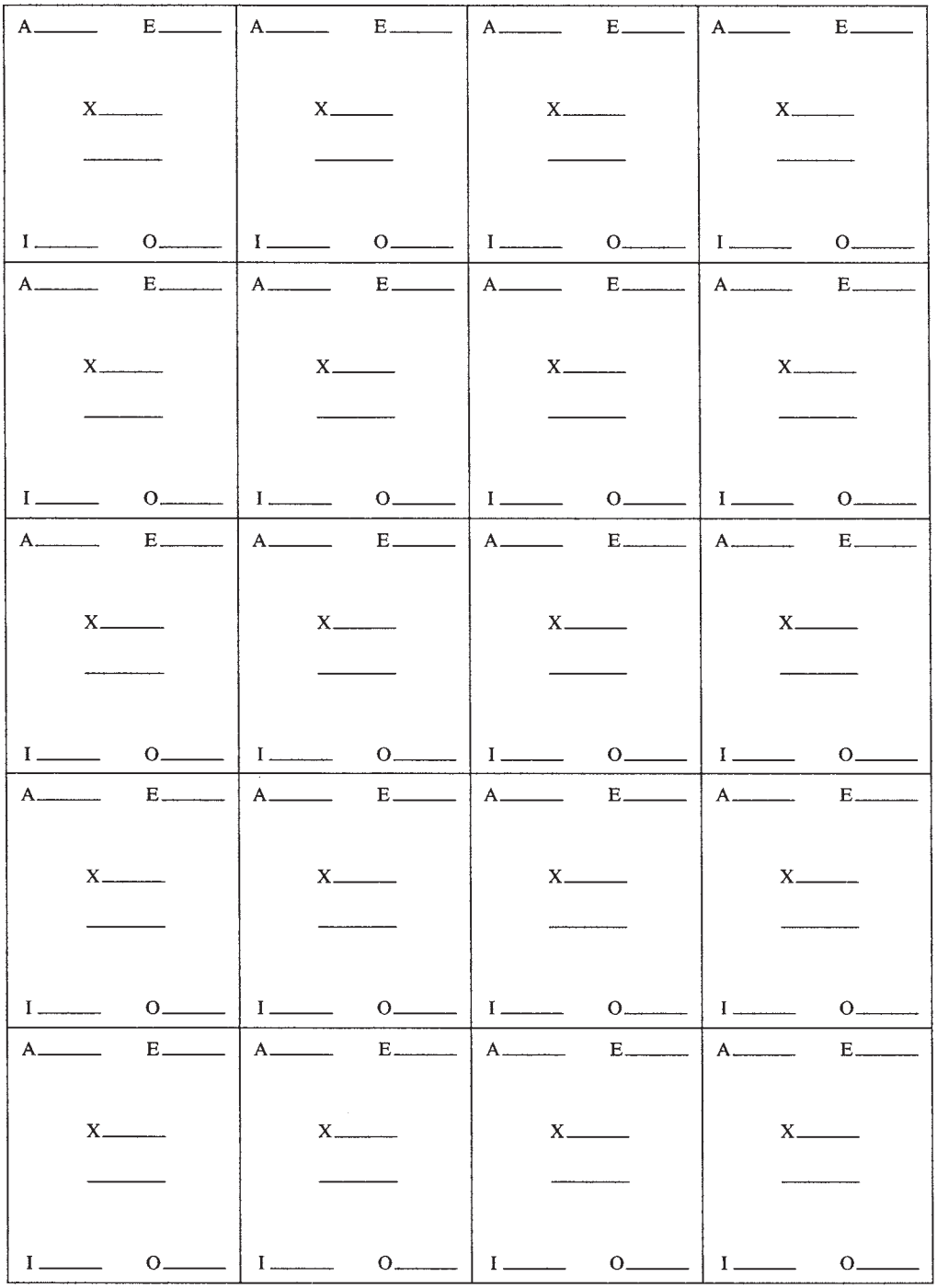


Figura 6-7 Diagrama adimensional de bloques: formato en blanco.

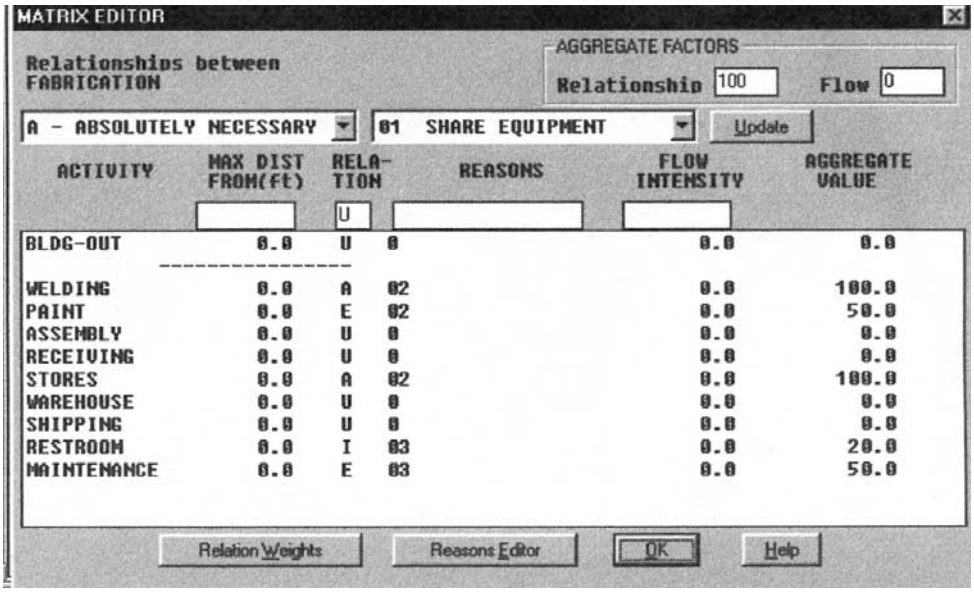


Figura 6-8 Relaciones entre fabricación y soldadura (cortesía de Enginnering Animation, Inc.).

La figura 6-9 muestra la gráfica de relación de actividades generada con el paquete FactoryPLAN, con los datos proporcionados por quien hace la planeación. En este ejemplo, se usó la información de la figura 6-1 de modo que podría compararse de cerca el resultado que se obtuvo con medios manuales y el que arroja la computadora. Para dar más claridad, se dejaron fuera del diagrama de flujo las áreas del cuarto de las herramientas, los casilleros (*lockers*), la cafetería y las oficinas. También observará que en el diagrama de relación de actividades que generó la computadora, el programa creó un centro denominado "BLDG-OUT". Esta actividad artificial se crea para representar las relaciones entre las actividades dentro de la instalación y el mundo exterior, tales como el flujo del material en el departamento de recepción, y el flujo de aquél fuera del departamento de envíos. Cada casilla en forma de diamante contiene el código de cercanía y la razón de éste. La gráfica generada con el software omite los códigos U.

El paquete de computadora generará una distribución óptima con base en los datos que el usuario introduce. Después podría manipularse y reacomodarse con sólo seleccionar un centro de trabajo y mover su ubicación.

Los usuarios también pueden generar su propia distribución. El paquete los interrogará a partir de los centros de trabajo con códigos de relación tipo A, para ubicar el centro de actividad. El centro se ubica con un clic del ratón. Una vez que se ubican todos los centros, las líneas de flujo se generan en forma automática.

Los cuadros de diálogo continúan hasta que se ha ubicado a todos los centros. En cualquier punto del proceso, el planeador puede mover cualquier centro de actividades a un lugar preferible, con base en la densidad de las líneas de flujo. La figura 6-10 muestra las líneas de flujo que se generan con base en las actividades entre los departamentos y el flujo

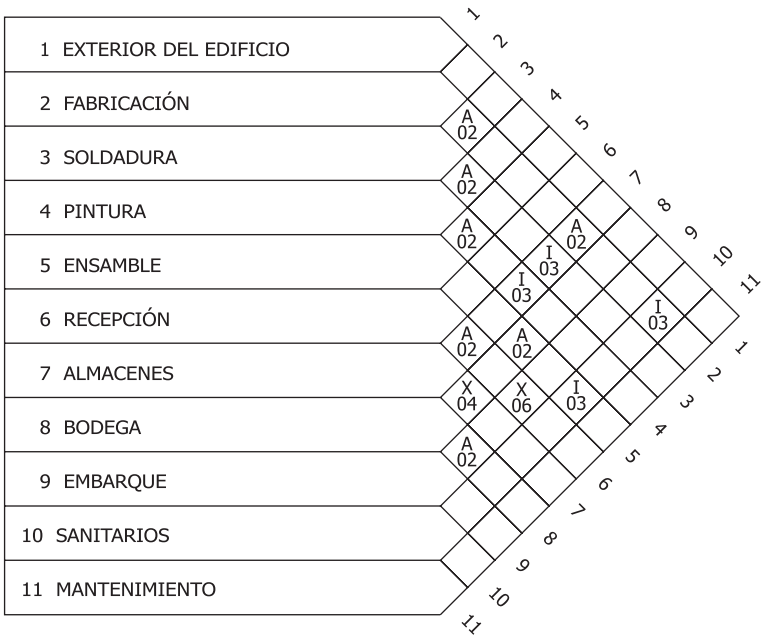


Figura 6-9 Gráfica de relación de actividades generada con el paquete FactoryPLAN (cortesía de Engineering Animation, Inc.).

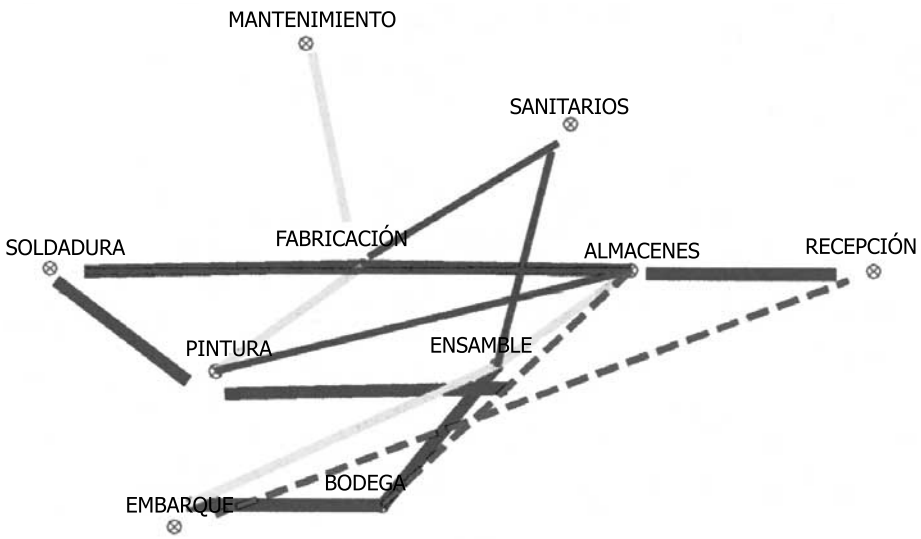
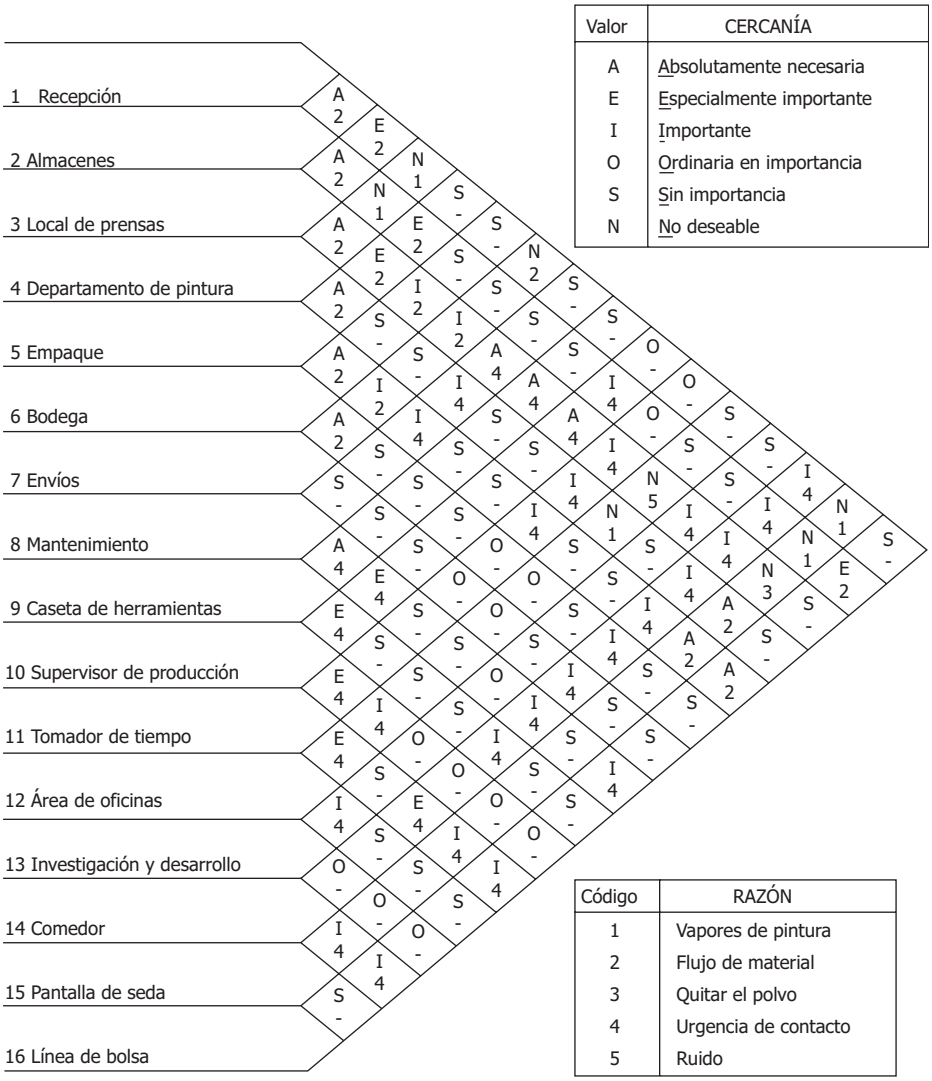


Figura 6-10 Líneas de flujo (cortesía de Engineering Animation, Inc.).

de materiales o personal. Se le invita a estudiar el número y la densidad de dichas líneas de flujo. Los centros de actividad se mueven con facilidad a fin de acortar las distancias entre aquellos centros conectados por las líneas más pesadas. En la figura 6-10 se hizo un intento para duplicar la distribución que se aprecia en la figura 6-4. Compare ambos dibujos. En la figura 6-10 se aprecia con claridad la línea más notable de tráfico que ocurre entre todos los centros.

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son los seis códigos de actividad y para qué sirven?
2. ¿De dónde provienen dichos códigos?
3. ¿Qué son los códigos de razón? ¿Por qué se utilizan? ¿Cómo se emplean?
4. ¿Por qué se necesita una hoja de trabajo?
5. ¿Qué es una plantilla?
6. Desarrolle un diagrama adimensional de bloques para el diagrama de relación de actividades de la figura 6-11. ¿Cuántas marcas de verificación empleó? Recuerde, entre menos, mejor.
7. Si una instalación contiene 15 departamentos diferentes, ¿cuántos códigos de afinidad se esperan en total?
8. Con el uso de una regla práctica, ¿cuál sería el número máximo de códigos A, E, e I, que se inclinaría a utilizar?
9. Compare las figuras 6-4 y 6-7. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de cada técnica?

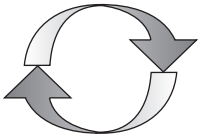


Valor	CERCANÍA
A	Absolutamente necesaria
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinaria en importancia
S	Sin importancia
N	No deseable

Código	RAZÓN
1	Vapores de pintura
2	Flujo de material
3	Quitar el polvo
4	Urgencia de contacto
5	Ruido

Figura 6-11 Diagrama de relación de actividades para la pregunta 6.

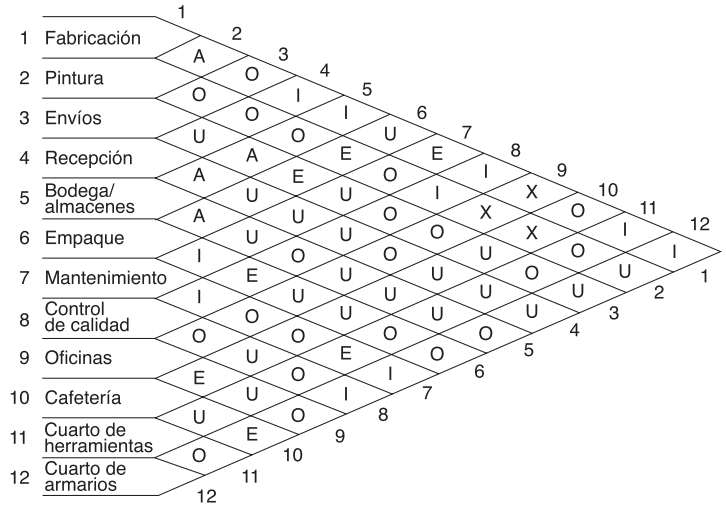
PROYECTO EN LA PRÁCTICA



En este capítulo se estudiaron cuatro técnicas para establecer el flujo óptimo de materiales en una instalación de manufactura: el diagrama de relación de actividades, la hoja de trabajo, el diagrama adimensional de bloques, y el análisis de flujo.

Este segmento del "Proyecto en la práctica" emplea las cuatro técnicas para determinar la distribución más eficiente que sea posible para la compañía manufacturera Shade Tree Grills. El diagrama de relación de actividades y resumen de gráfica muestran las relaciones entre las distintas actividades y operaciones que se llevan a cabo en la instalación. A partir de dicha información, se crea un diagrama adimensional de bloques para mostrar la distribución propuesta. Se realizan estudios de análisis de flujo para entender mejor las limitaciones del diseño, por medio de identificar las áreas congestionadas y con cuellos de botella. Estas ayudas visuales conducen a mejoras en el diseño.

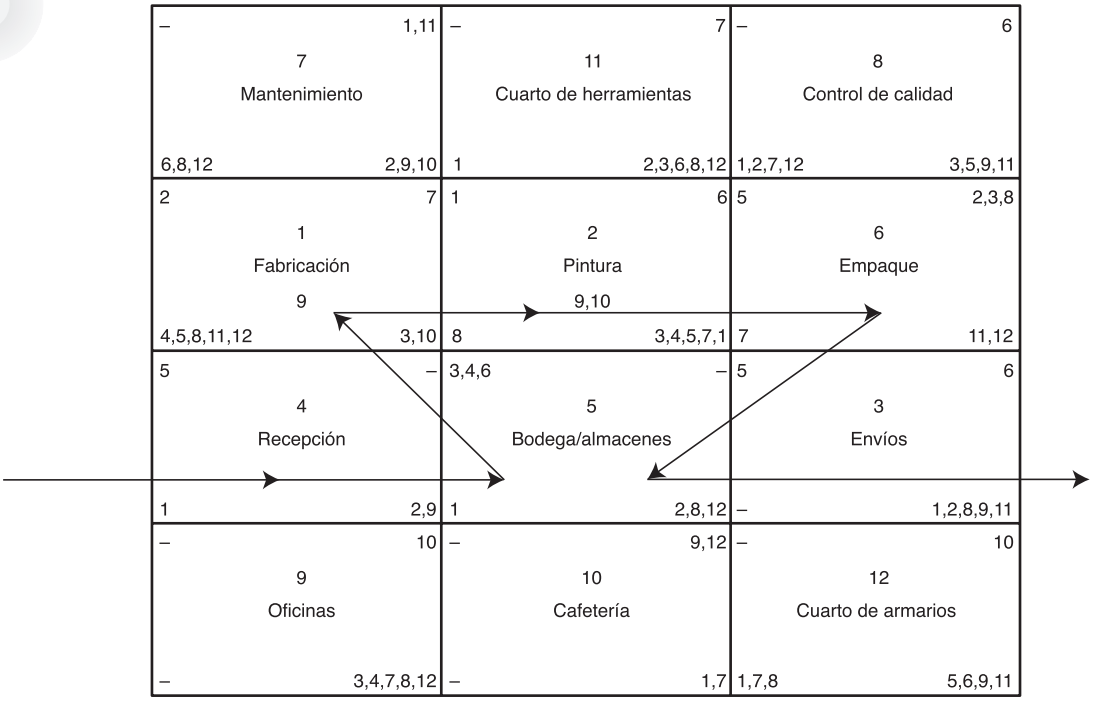
Diagrama de relación de actividades



Resumen de la gráfica de relación de actividades

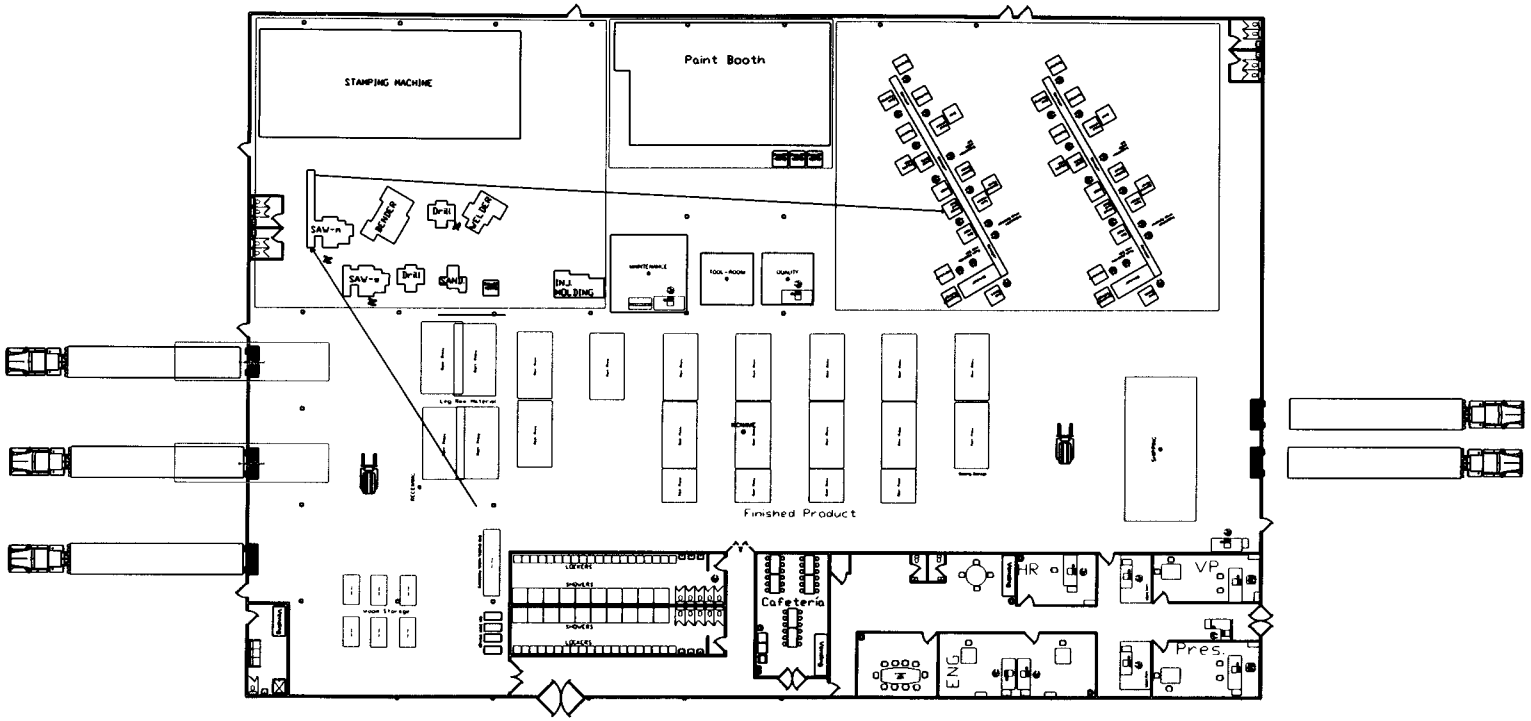
	Departamento	A	E	I	O	U	X
1	**Fabricación**	2	7	4, 5, 8, 11, 12	3, 10	6	9
2	**Pintura**	—	6	8	3, 4, 5, 7, 11	12	9, 10
3	**Envíos**	5	6	—	1, 2, 8, 9, 11	4, 7, 10, 12	—
4	**Recepción**	5	—	1	2, 9	3, 6, 7, 8, 10, 11, 12	—
5	**Bodega / almacenes**	3, 4, 6	—	1	2, 8, 12	7, 9, 10, 11	—
6	**Empaque**	5	2, 3, 8	7	11, 12	1, 9, 10	—
7	**Mantenimiento**	—	1, 11	6, 8, 12	2, 9, 10	3, 4, 5	—
8	**Control de calidad**	—	6	1, 2, 7, 12	3, 5, 9, 11	4, 10	—
9	**Oficinas**	—	10	—	3, 4, 7, 8, 12	5, 6, 11	—
10	**Cafetería**	—	9, 12	—	1, 7	3, 4, 5, 6, 8, 11	—
11	**Cuarto de herramientas**	—	7	1	2, 3, 6, 8, 12	4, 5, 9, 10	—
12	**Cuarto de armarios**	—	10	1, 7, 8	5, 6, 9, 11	2, 3, 4	—

Diagrama adimencional de bloques



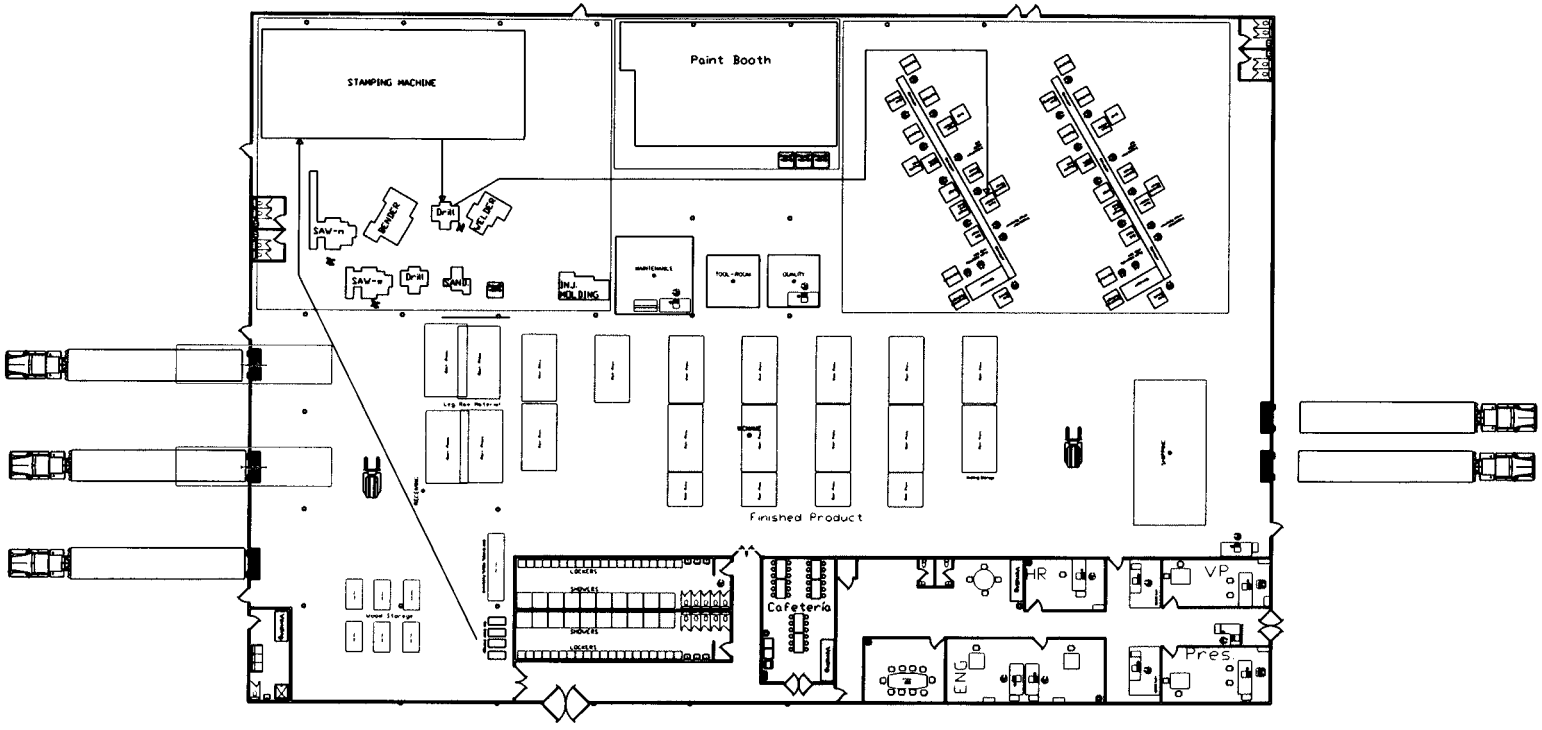
Shade Tree Grills

DIAGRAMA DEL FLUJO DEL EJE



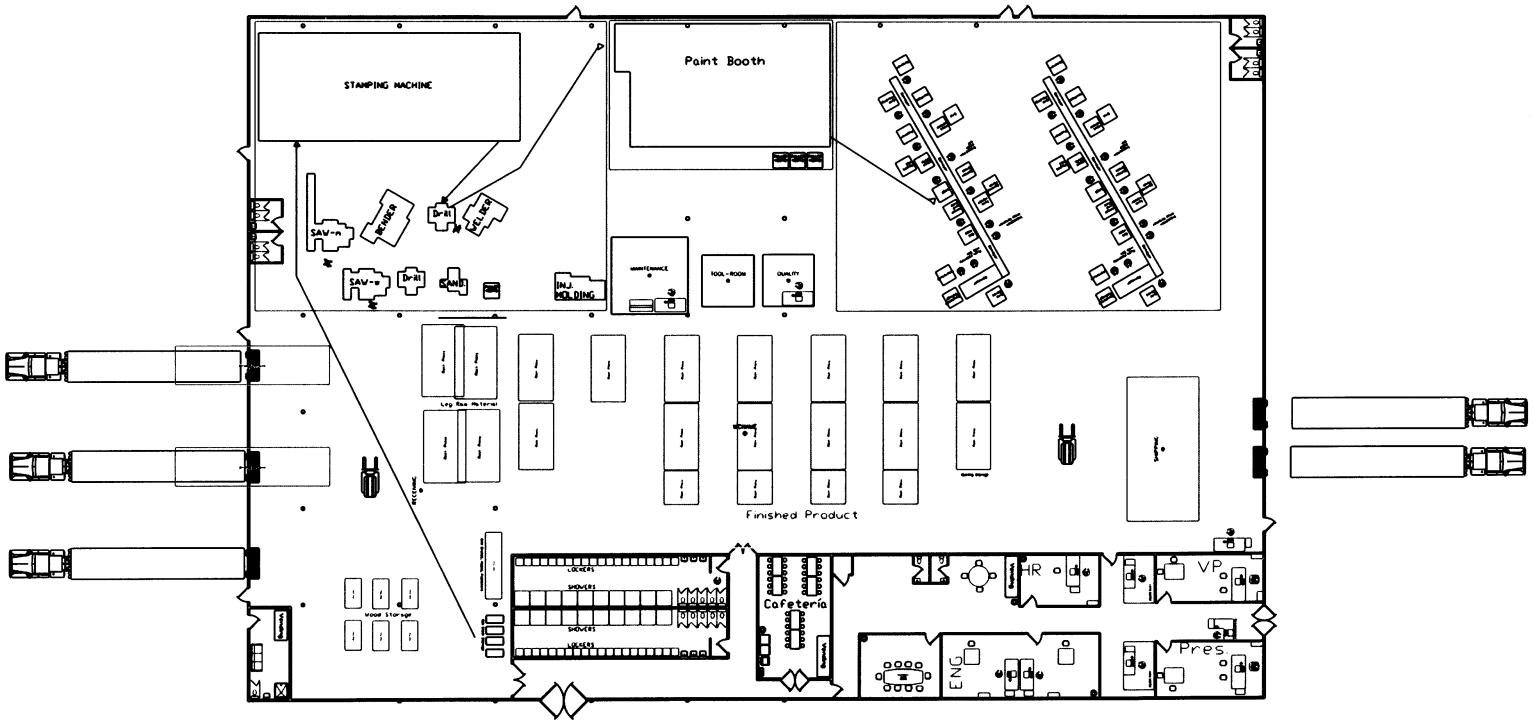
Shade Tree Grills

DIAGRAMA DEL FLUJO DEL TANQUE



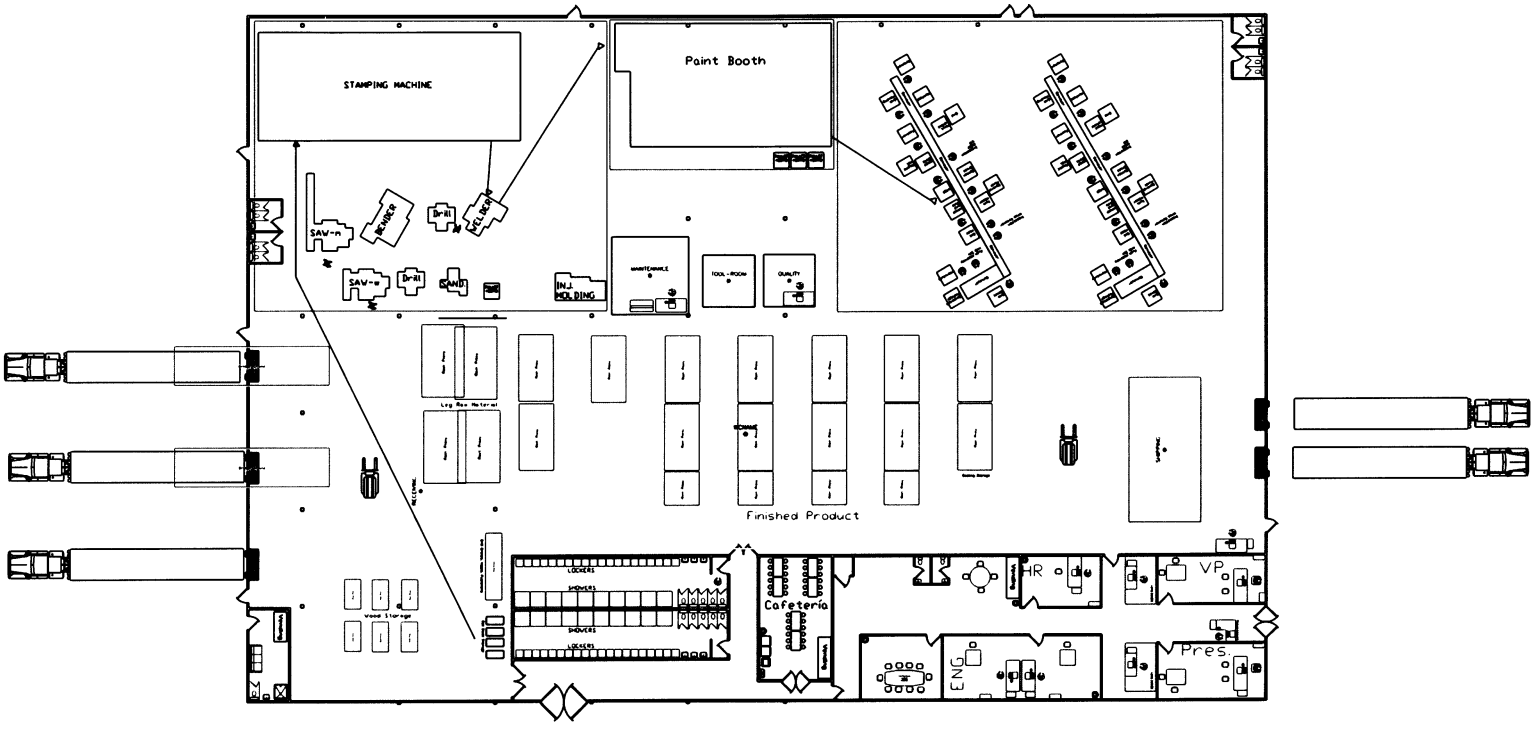
Shade Tree Grills

DIAGRAMA DEL FLUJO DE LA ABRAZADERA INFERIOR



Shade Tree Grills

DIAGRAMA DEL FLUJO DE LA ABRAZADERA SUPERIOR



Shade Tree Grills

CAPÍTULO

7

Requerimientos de espacio y ergonomía en el diseño de la estación de manufactura

DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE MANUFACTURA

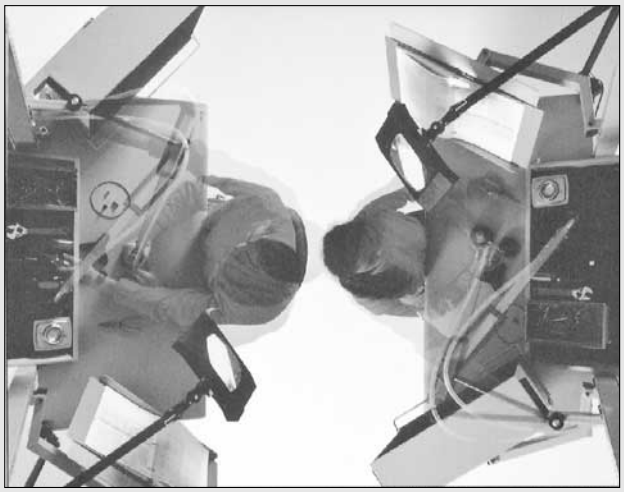
El resultado de la ergonomía y el diseño de la estación de manufactura es una distribución de esta última que determina los requerimientos de espacio. Los requerimientos totales de espacio del departamento de manufactura sólo son el total de los requerimientos individuales más un factor (un poco extra) de contingencia.

La *ergonomía* es la ciencia de impedir lesiones musculares y óseas en el lugar de trabajo. Es el estudio del diseño del sitio laboral y la integración de los trabajadores con su ambiente. Las consideraciones ergonómicas incluyen estatura, fuerza, alcance, visión, capacidad cardiovascular, cognición, capacidad de supervivencia y, desde hace poco, lesiones musculares y esqueléticas acumuladas por los empleados. Ahora, las cuestiones de seguridad y salud son parte integral del diseño de la estación de manufactura y los diseñadores de éstas deben continuar su educación al respecto. La ergonomía es una materia importante en la industria actual. El texto de la figura 7-1, proporcionada por Aero-Motive Manufacturing Company, describe la importancia de la ergonomía.

La palabra "ergonomía" proviene de dos vocablos griegos: *ergon*, que significa "trabajo", y *nomos*, que significa "reglas o leyes". "Ergonomía" podría traducirse en forma laxa como "leyes o reglas para desempeñar o hacer el trabajo". La disciplina de la ergonomía también se refiere a factores humanos o a ingeniería humana.

Se dejará el estudio de la ergonomía para un curso específico sobre la materia. Pero en el grado en que se relaciona con el diseño de la estación de manufactura, la regla de oro puede enunciarse así: *Diseñar el trabajo o la estación de manufactura de modo que la tarea se adapte a la persona, en lugar de forzar al cuerpo humano o a la psique a adaptarse al trabajo.* Para lograr

La ERGOMOCIÓN es la integración exitosa del trabajador y el ambiente del proceso... para reunir al ser humano y los elementos mecánicos del modo más eficiente posible, con el fin de incrementar la productividad y proteger la inversión realizada tanto en el trabajador como en el equipo.



La ERGONOMÍA se ha convertido en un concepto crítico en el lugar de trabajo del presente. Las investigaciones indican que se pierden miles de horas de trabajo al año como resultado de las LMR (Lesiones por Movimientos Repetitivos), y condiciones musculares y esqueléticas relacionadas con ellas, atribuibles a tareas repetitivas de ensamblado. Este factor, combinado con los costos en aumento de las compensaciones para los trabajadores, ilustra la necesidad de sistemas de trabajo que minimicen el reto de las LMR, así como la optimización de la productividad. La respuesta es el sistema de estación de manufactura Aero-Motive.

La FLEXIBILIDAD es importante para toda aquella persona involucrada en el proceso de trabajo. Ergomation Products están diseñados para permitir diferencias de estatura, peso, alcance y fuerza del operador. Proporcionan a los trabajadores opciones infinitas de ajuste para su superficie de trabajo, sillas, papeleras, herramientas, energía, iluminación y cualesquiera otros accesorios relacionados con el trabajo. El sistema vertical permite la colocación óptima de todos los componentes, por medio de brazos articulados y un sistema de anaqueles diseñado para servir las zonas de alcance primera y segunda, vertical y horizontal. Esto crea un ambiente de trabajo que reduce los movimientos innecesarios y coloca al trabajador en la mejor posición posible para las tareas que debe emprender.

La MODULARIDAD es una ventaja esencial del sistema. Todos los componentes, desde los verticales, hasta las superficies de trabajo y accesorios, son característica universal del hardware de conexión que permiten una variedad ilimitada de configuraciones. Los carros pueden equiparse con anaqueles, contenedores y brazos articulados para facilitar la división y el transporte en la línea. Los suministros de energía para conductos de aire, vacío, nitrógeno, electricidad o comunicación, se arreglan con facilidad de formas distintas.

Figura 7-1 Ergomoción (cortesía de Aero-Motive Manufacturing Co.).

este principio, en apariencia sencillo aunque importante en extremo, hay un campo de la ergonomía que se denomina *antropometría*, que proporciona la perspectiva sobre las proporciones físicas del cuerpo humano. Con el uso de herramientas estadísticas básicas, la antropometría define el rango de las va-

riaciones y distribución de distintas medidas y características físicas del cuerpo humano, tales como estatura, fuerza y distancia alcanzada, entre otros datos.

Entonces, los datos antropométricos ayudan a los planeadores a diseñar estaciones de manufactura, unidades para carga manual, u otras herramientas que se acomoden a la mayoría de trabajadores. Por ejemplo, si una estación de manufactura está diseñada para el 5o percentil de mujeres, el 95o se topará con grandes dificultades para realizar su tarea en la estación. Una herramienta de mano que requiera la fortaleza o el agarre del 95o percentil, no se acomodará al 5o percentil de mujeres.

No todos los aspectos del diseño de la estación de manufactura necesarios caen en el dominio estricto de las mediciones y las distribuciones estadísticas de la antropometría. También el sentido común juega un papel importante. Se debe comprender la postura natural o el estado confortable del trabajador. Se debe considerar la altura de la mesa de trabajo en relación con los codos del trabajador. ¿Éstos quedan en alto o forman un ángulo de 90º cuando se realiza el trabajo? ¿Cuál es la posición más confortable? ¿Qué hay de las muñecas? ¿Las muñecas del trabajador están planas o flexionadas en una posición elevada (ésta es la causa principal del síndrome del túnel del carpo) cuando se trabaja?

El diseño inadecuado de la estación de manufactura cuesta a la industria de Estados Unidos millones de dólares al año por concepto de pérdidas en la productividad y la salud, y lesiones y accidentes laborales.

El diseño resultante de la estación de manufactura es un plano, normalmente la vista superior de ella, que incluye el equipo, los materiales y el espacio para el operador. El diseño de estaciones de manufactura ha sido una actividad realizada durante casi un siglo por los ingenieros industriales y de manufactura. Durante dicho periodo, los profesionales han desarrollado una lista de principios de ergonomía y *economía de movimientos* que todos los ingenieros nuevos deben aprender y aplicar. Cuando los principios de la ergonomía y la economía de movimientos se aplican en forma apropiada al diseño de la estación de manufactura, se tienen como resultado los patrones de movimiento más eficientes y seguros.

La primera pregunta es: "¿Dónde comenzar?", que hacen con frecuencia los nuevos diseñadores de estaciones de manufactura. La respuesta es muy sencilla: ¡donde sea! No importa dónde comience en el diseño de la estación, llegará otra idea que hará que ese punto de inicio sea obsoleto. Dónde comenzar depende por mucho de lo que va a realizarse en esa estación de manufactura. Generalmente, la forma más barata de comenzar la producción es la mejor regla para el punto inicial. Esto significa la forma más barata: las máquinas, el equipo y las estaciones de manufactura más sencillos. Los ahorros deben justificar cualquier mejora a este método más económico. Por tanto, el diseñador queda en libertad de comenzar donde guste para después mejorar ese método inicial.

En cualquier diseño de estaciones de manufactura debe incluirse la información siguiente:

1. Mesas de trabajo, máquinas e instalaciones.
2. Materiales de entrada (debe tomarse en cuenta el empaque y la cantidad de los materiales).
3. Materiales de salida (producto terminado).
4. Espacio para el operador y acceso al equipo.
5. Ubicación de los desperdicios y rechazos.
6. Composturas y herramientas.
7. Escala de los dibujos (vea la figura 7-2).

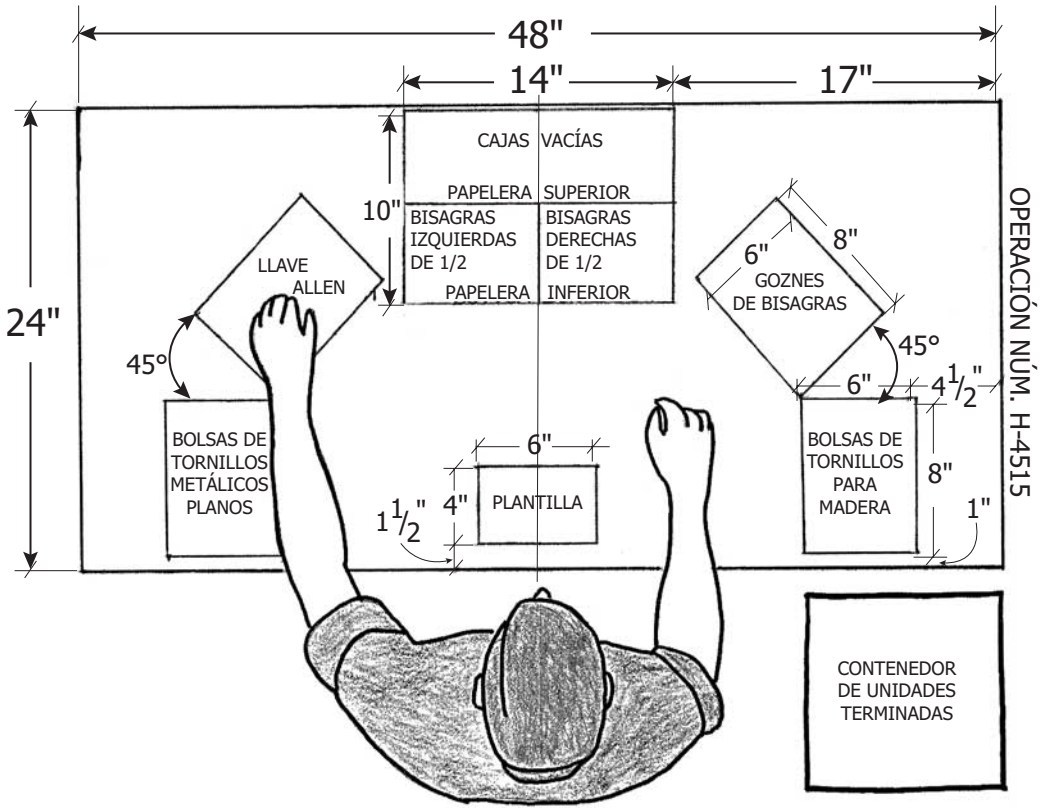


Figura 7-2 Distribución del lugar de trabajo —método antiguo.

Un dibujo tridimensional mostrará una cantidad aún mayor de información. Cualquier diseñador talentoso intentará un diseño en tres dimensiones. La figura 7-3 es la fotografía de una mesa de trabajo bien planeada.

El segundo ejemplo de diseño de estación de manufactura será una operación de máquina (vea la figura 7-4). Las necesidades de diseño de esta estación son las mismas que las de la anterior, pero se agregará el equipo (máquinas, plantillas y accesorios).

Las figuras 7-5 a 7-10 (pp. 208 a 211) son diseños de estaciones de manufactura para el equipo que se requiere en el ejemplo de planta de la caja de herramientas. La figura 7-11 (p. 212) es el diseño para el sistema de pintura de la caja de herramientas.

LA ERGONOMÍA Y LOS PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA DE MOVIMIENTOS

Los ingenieros industriales y de manufactura desarrollan de manera continua lineamientos para el diseño de estaciones de manufactura más seguras, eficientes y eficaces. Frank y Lillian Gilbreth los recopilaron por primera vez y les dieron el título de "The principles of motion economy". Ralph Barnes los actualizó y publicó en 1937. La ergonomía comenzó

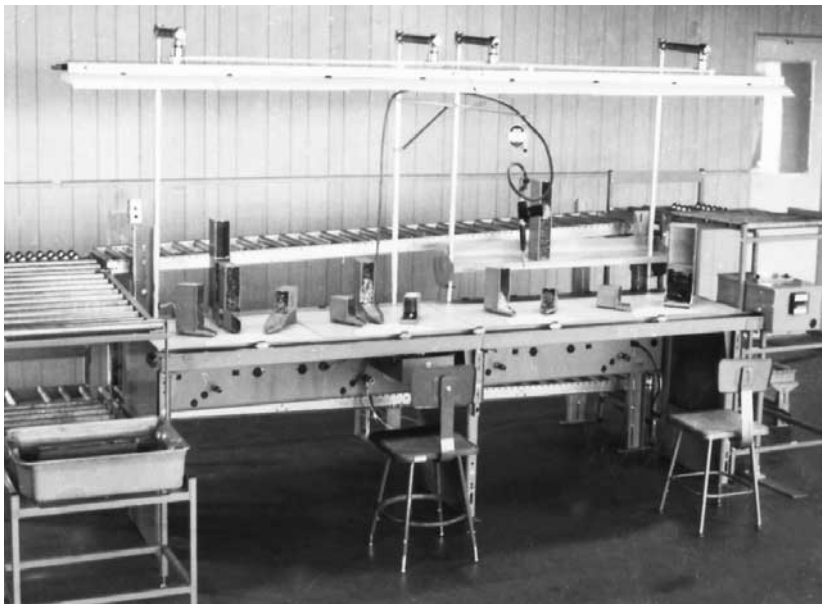


Figura 7-3 Mesa de trabajo (cortesía de American Seating Co.).

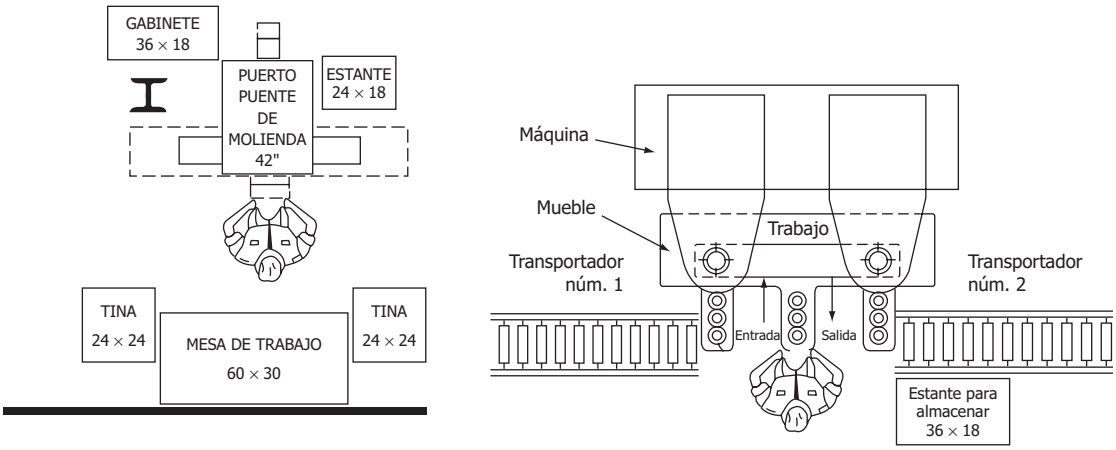


Figura 7-4 Distribución de la estación de manufactura.

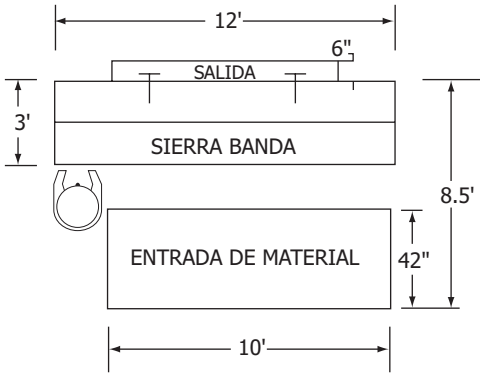


Figura 7-5 Sierra banda —superficie total: 102 pies cuadrados.

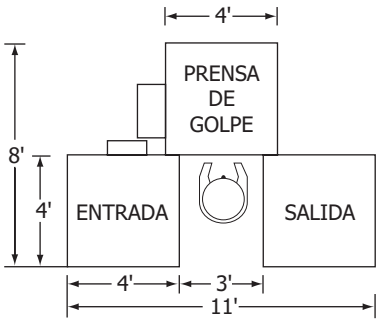


Figura 7-6 Prensa de golpe —superficie total: 88 pies cuadrados.

durante la Segunda Guerra Mundial, pero no fue sino hasta hace poco que se volvió parte importante de la ingeniería industrial y de manufactura.

La efectividad consiste en hacer el trabajo correcto. La eficiencia es usar el trabajo correcto. En primer lugar, es importante considerar la efectividad, porque hacer un trabajo innecesario es perjudicial, pero es peor hacer un trabajo inútil en forma eficiente. La seguridad y la eficiencia deben ser los objetivos de todo diseñador de estaciones de manufactura.

La ergonomía y los principios de la economía de movimientos deben tomarse en cuenta en todo trabajo. Algunas veces se violarán los principios por buenas razones. Estas violaciones y razones deben escribirse para uso futuro. Será usted quien tenga que defenderse ante cada nuevo diseñador de estaciones de manufactura, así que prepárese, escríbalas.

Es frecuente que los principios se usen en conjunto en formas muy creativas, pero conocerlos es el punto de partida. El único límite para mejorar el diseño de la estación de manufactura es la creatividad del diseñador.

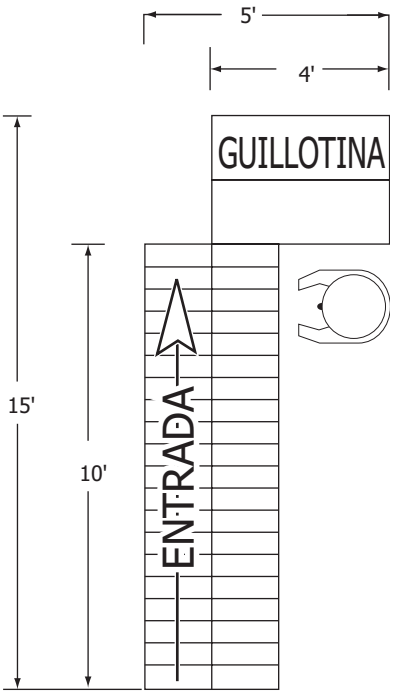


Figura 7-7 Guillotina —superficie total: 75 pies cuadrados.

Principio 1: movimientos de la mano

En primer lugar, deben eliminarse los movimientos de mano tanto como sea posible. Que los haga un dispositivo mecánico, pero si se necesitan (y muchos son necesarios), las manos deben operar como imágenes en un espejo. Deben iniciar y terminar movimientos al mismo tiempo; moverse en direcciones opuestas, y ambas deben trabajar en todas las ocasiones.

Si las manos alcanzan dos partes al mismo tiempo, los contenedores deben estar a la misma distancia hacia atrás del área de trabajo y del eje central de la estación.

Si sólo una parte se alcanzara con una mano, surgiría la pregunta de qué haría la otra. Hacer que ambas manos trabajen al mismo tiempo es un reto grande que puede vencerse con facilidad si se hacen dos partes al mismo tiempo (terminar una tarea con la mano izquierda y otra con la derecha). Un uso muy deficiente de las manos es sujetar, con una de ellas, una componente mientras a ésta se le ensamblan otras (piense cómo rediseñaría esta tarea). Esto se llama "trabajo bandido de una mano". Se dice que el accesorio más caro del mundo es la mano humana.

Recuerde que en el diseño de estaciones de manufactura no se toma en cuenta si los trabajadores usan la mano derecha o la izquierda. Además, si se usan herramientas de mano deben estar diseñadas de modo ergonómico y adaptarse con facilidad a individuos que usen cualquiera de las dos manos. Considere que más del 10 por ciento de las personas se

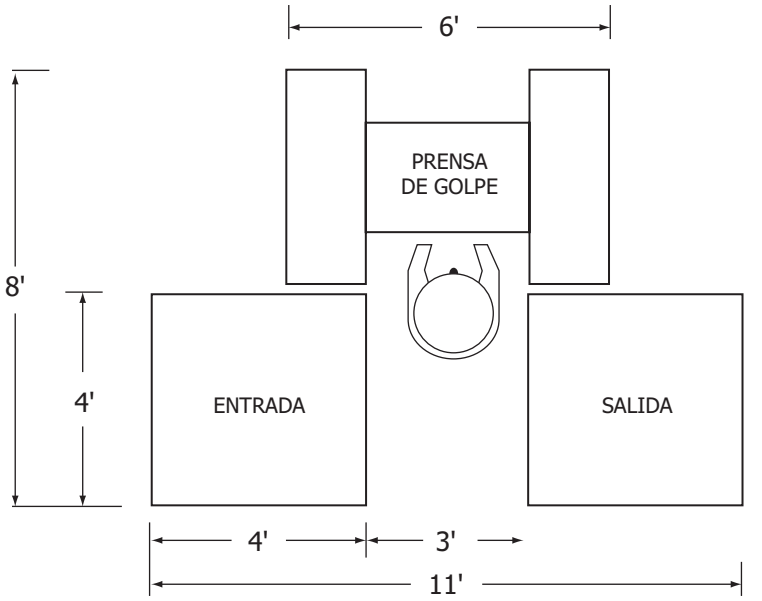


Figura 7-8 Prensa de golpe —superficie total: 88 pies cuadrados.

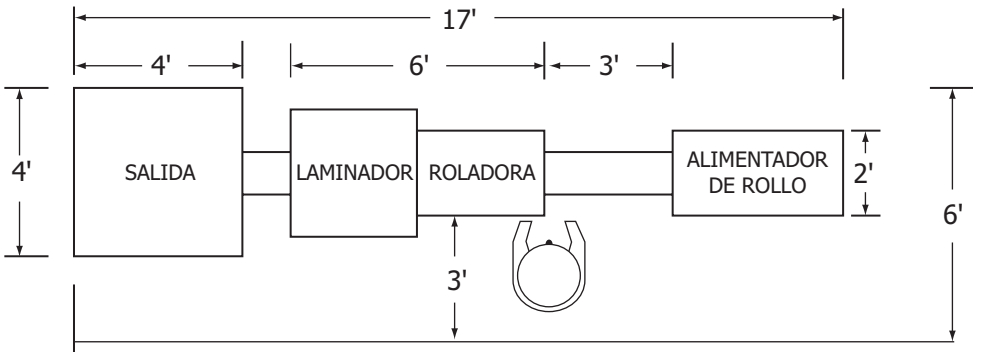


Figura 7-9 Roladora —superficie total: 102 pies cuadrados.

desempeñan con la mano izquierda, y la probabilidad de tener a una de ellas operando en una estación dada es fácilmente posible.

A continuación se presenta un resumen de movimientos de la mano:

1. Eliminar tantos movimientos de manos como sea posible.
2. Combinar movimientos para suprimir otros.

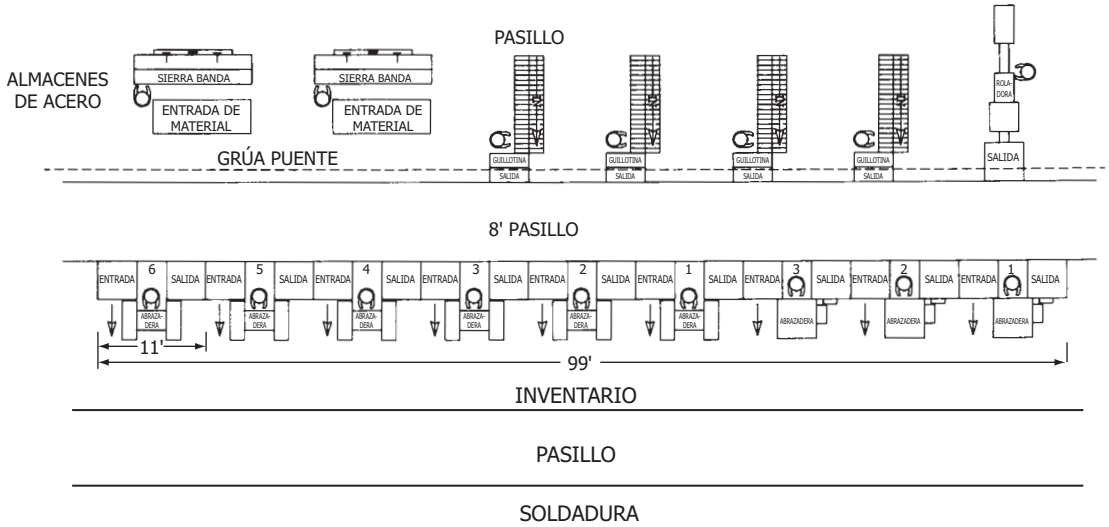


Figura 7-10 Distribución del departamento de fabricación.

3. Efectuar movimientos tan cortos como sea posible, y desalentar las inclinaciones debidas al alcance excesivo.
4. Reducir tanto como sea posible la fuerza requerida.
5. Mantener ambas manos igual de ocupadas.
6. Usar movimientos como imágenes en un espejo.
7. No usar ninguna mano como dispositivo de sujeción.
8. Colocar las herramientas y los materiales que se usan con frecuencia cerca del punto de empleo y más lejos de éste lo que se utilice menos. El peso de las herramientas y los materiales también debe influir en su cercanía con el punto de uso. Sitúe el material pesado más cerca de éste.

Principio 2: tipos básicos de movimiento

Los *movimientos balísticos* son movimientos rápidos que se crean al poner en movimiento un conjunto de músculos sin tratar de detenerlos con el uso de otros músculos. Buenos ejemplos de esto son lanzar una parte a un contenedor o presionar un botón de alarma. Deben estimularse los movimientos balísticos.

Los *movimientos controlados* o *restringidos* son lo opuesto de los balísticos, y requieren más control, en especial, al final del movimiento. Un ejemplo de movimiento controlado es la colocación cuidadosa de partes. Las mejores justificaciones para los movimientos controlados son las consideraciones de seguridad y calidad, pero si hubiera formas de sustituir los movimientos controlados por balísticos, es posible que se reduzcan los costos. En primera instancia, los movimientos controlados se consideran para su eliminación, es decir, trate de diseñar un medio para evitar su uso porque son costosos, cansados e inseguros.

Los movimientos continuos son curvados y mucho más naturales que los movimientos en línea recta, los cuales tienden a ser controlados o restringidos. Cuando una parte del cuer-

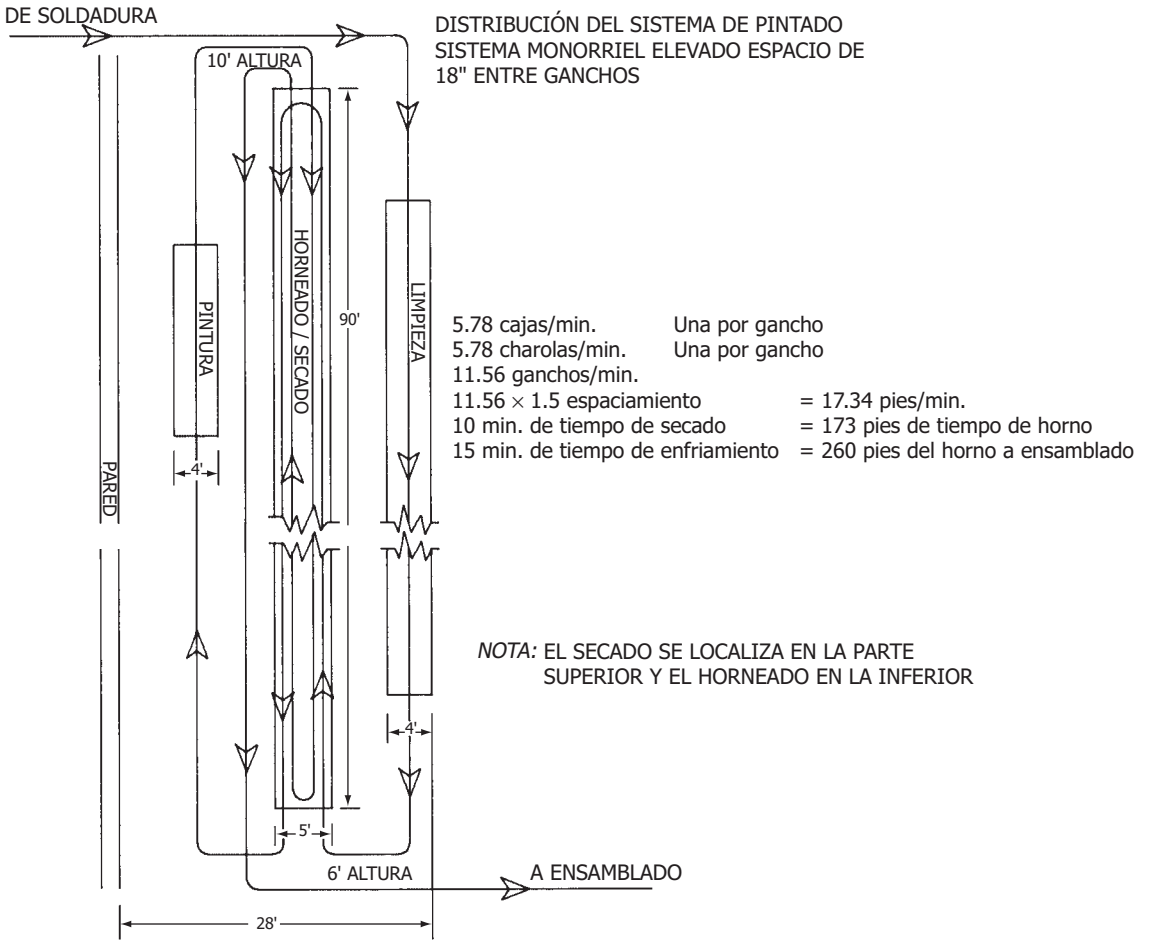


Figura 7-11 Diseño de la estación de manufactura para el sistema de pintado de cajas de herramientas.

po tiene que cambiar de posición, la velocidad se reduce y se originan dos movimientos separados. Si la dirección cambia menos de 120º, se requieren dos movimientos. Un ejemplo de trabajo que requiere dos movimientos es tomar partes de una caja plana que se encuentra sobre la mesa: un movimiento al borde de la caja y otro hacia dentro de ella. Si la caja estuviera situada en ángulo sería posible usar un solo movimiento. Este principio se mostrará con mucho detalle en la sección del aprovechamiento de la gravedad, en este capítulo.

Principio 3: ubicación de las partes y las herramientas

Hay que tener un lugar fijo para todas las partes y las herramientas, y tener todo tan cerca como sea posible del punto de uso (vea las figuras 7-12 y 7-13). Tener un sitio fijo para todas las partes y herramientas ayuda en la formación de hábitos y acelera el proceso de aprendizaje. ¿Ha necesitado alguna vez unas tijeras, y cuando vio adonde se suponía que es-

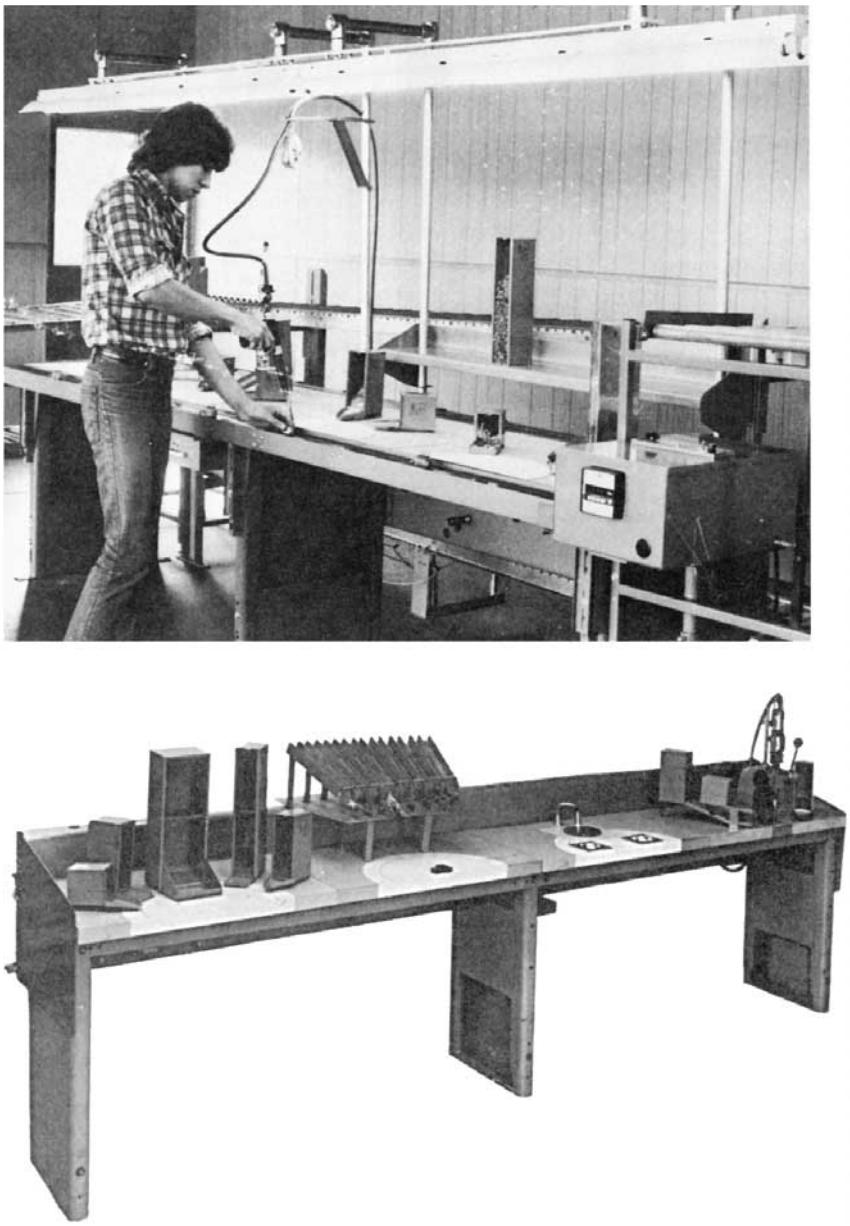


Figura 7-12 Localización de las partes y las herramientas (cortesía de Alden Systems Co., Inc.).

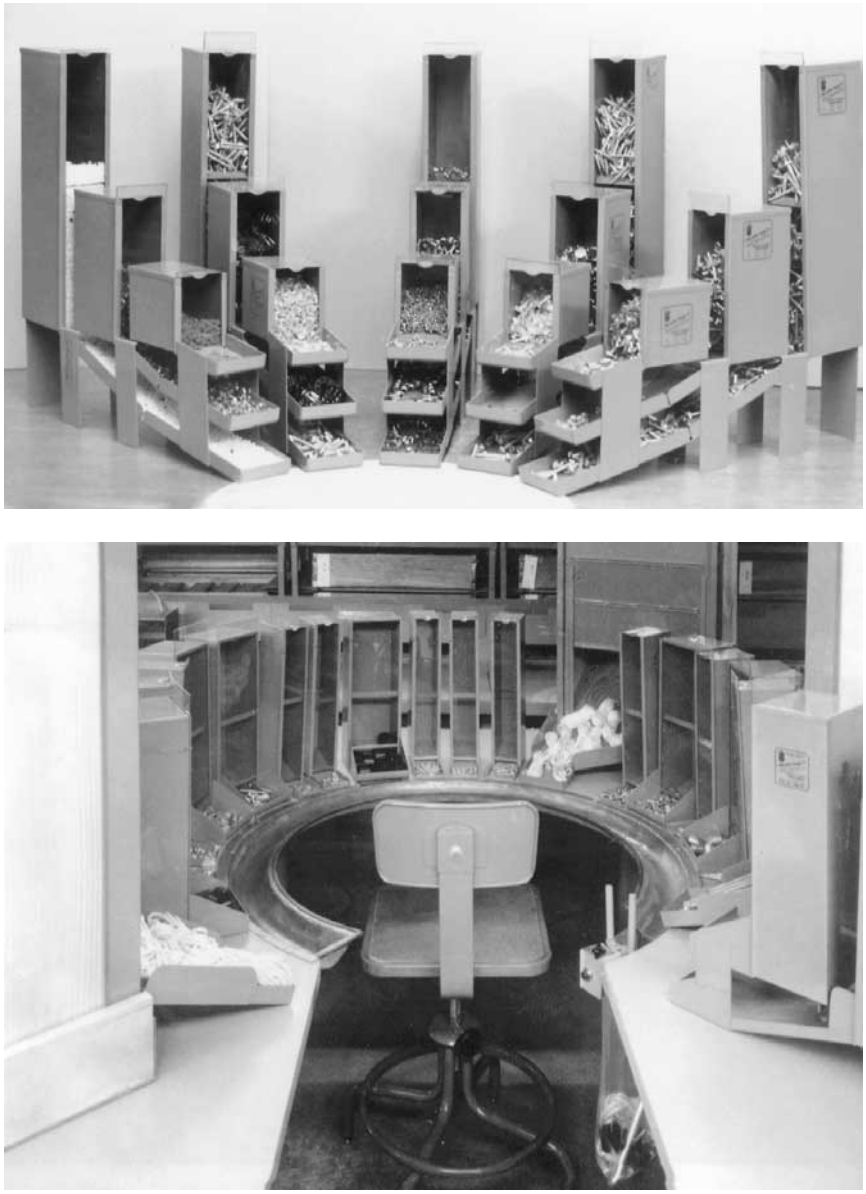


Figura 7-13 Localización de las partes y las herramientas (cortesía de Alden Systems Co., Inc.).

taban no había nada? ¿Qué tan eficiente fue en los minutos siguientes? La caja de herramientas del operario se deja de modo que éste sabe donde está cada artículo y puede tomarlo sin mirar. Éste debe ser un objetivo en toda estación de manufactura diseñada por los planeadores.

La necesidad de tener ubicadas las partes tan cerca del punto donde se usan es demasiado evidente, y no debería causar sorpresa saber que entre más lejos esté algo que se tenga que tomar, más costoso y cansado será el trabajo. Se requiere creatividad de verdad para minimizar los alcances. Se pueden poner partes en dos sujetadores, en lugar de ponerlas en una fila a través de la parte superior de la estación de manufactura, o sería mejor tener tres sujetadores de partes, uno sobre otro. O utilizar transportadores para mover las partes dentro y fuera de la estación de manufactura.

Enseguida se presenta un resumen de la ubicación de partes y herramientas:

1. Tener un lugar fijo para todo.
2. Situar todo tan cerca como se pueda del punto de uso.

Principio 4: liberar las manos de tanto trabajo como sea posible

Como ya se dijo, la mano es el accesorio más caro que podría usar un diseñador. Por tanto, debe proveer otras formas de sujetar partes. Los accesorios y las plantillas están diseñados para sujetar partes de modo que el trabajador pueda usar ambas manos. Pueden diseñarse dispositivos que se controlen con el pie, que permitan dejar las manos libres para el trabajo. Los transportadores mueven partes que rebasan a los operadores, de modo que no tienen que ir o alejarse de la unidad base. Las mesas redondas energizadas también se utilizan para mover partes hacia un operador (vea la figura 7-14). En cuanto a su activación, los implementos pueden ser eléctricos, neumáticos, hidráulicos y manuales. Se cierran con poca presión o con toneladas. Los dispositivos que se cierran en forma automática dejan libres las manos para ejecutar la tarea. Éstos pueden tener cualquier forma, lo que está determinado por la de la parte. Una tuerca hexagonal se sitúa en un agujero hexagonal de modo que no necesite ser sujetada, pero estará fija con firmeza gracias a la forma de la parte y su dispositivo. Los fabricantes de juguetes necesitan dejar éstos en un elemento sujetador hasta que seca el pegamento. Dicho sujetador puede tener la forma exacta de las partes superior e inferior del juguete. El diseño del dispositivo es fácil y para realizarlo sólo se requiere el conocimiento de la parte y los procesos que necesita. Muchos vendedores de herramientas "adorarían" proveerle con materiales para elaborar accesorios y dispositivos (vea la figura 7-15).

Principio 5: gravedad

La gravedad es energía gratuita. ¡Úsela! Puede mover partes más cerca del operador. Si se coloca un plano inclinado en la parte inferior de las tolvas para las partes, éstas se acercan al frente de los operadores. Los administradores de la producción gustan de fraccionar toda la inversión, y esto puede lograrse con el uso de la gravedad. Por ejemplo, considere una caja que tenga dimensiones de $24 \times 12 \times 6$ y que esté plana sobre una mesa. La parte promedio dentro de ella (la única en la que se interesa el diseñador) mide 12 pulgadas de largo, 6 de ancho y 3 de alto, la mitad exacta de la caja. Ahora, si rescata de la basura una tabla desechada de 2×4 pulgadas y la coloca debajo del extremo posterior de la caja y eleva

Figura 7-14 Liberar las manos de tanto trabajo como sea posible (cortesía de Alden Systems Co., Inc.).

ésta de 4 a 5 pulgadas, las partes se deslizarán hacia el frente de ella conforme se utilicen. El alcance del operador se habrá reducido de 12 a 3 pulgadas desde el borde frontal de la caja, una reducción de costo significativa tanto en alcanzar la parte como al llevarla hacia atrás. Éste es un ahorro continuo de cerca de $2.20 por cada 1,000 partes. Las grandes cajas de partes pueden moverse dentro y fuera de las estaciones de manufactura por medio de elementos rodantes de gravedad y transportadores con patines de ruedas. Las partes pueden moverse entre estaciones de manufactura sobre deslizadores por gravedad hechos de láminas de metal, plástico, e incluso, madera.

La gravedad también se usa para retirar las partes terminadas de la estación de manufactura. Dejarlas caer en rampas o deslizadores que las lleven hacia abajo, lejos de la estación, ahorra tiempo, fatiga al operador y espacio en la estación de manufactura. Las rampas de deslizamiento alejan las partes del molde de las prensas de golpe sin intervención del operador mediante descargas de aire comprimido, limpiadores mecánicos o, incluso, con un empujón de la parte siguiente sobre la que ya está en el molde, terminada.

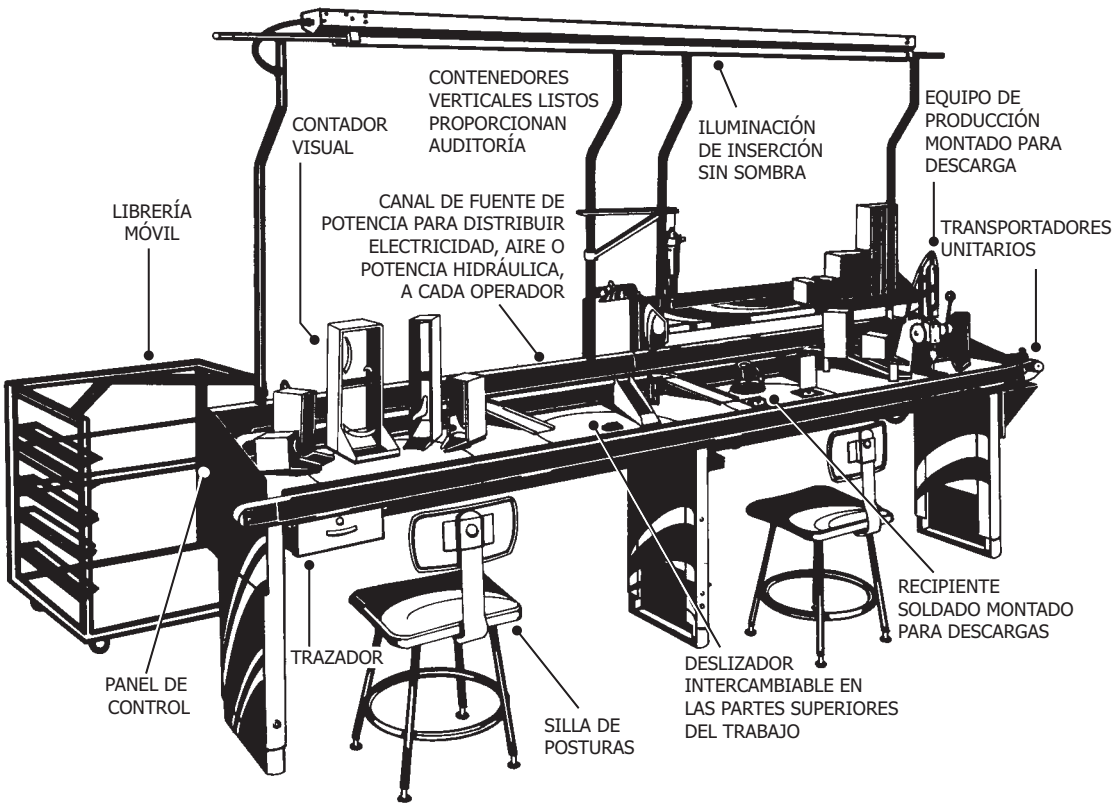


Figura 7-15 Consideraciones sobre el operador (cortesía de Alden Systems Co., Inc.).

La gravedad se usa en todos los lugares. Los diseñadores de estaciones de manufactura deben intentar incorporarla en sus diseños en todo lo que se pueda. Hacer diseños que utilicen la gravedad en la estación de manufactura es un reto y, además, es divertido. Las oportunidades están en todas partes. ¡Encuéntrelas!

Principio 6: consideraciones sobre la seguridad y la salud del operario

Al diseñar la estación de manufactura tenga en mente los riesgos para la seguridad y anticipe los requerimientos de acciones de emergencia. La seguridad y la salud del operador son responsabilidad de usted. Cuando diseñe la estación debe considerar las dimensiones antropométricas de la fuerza de trabajo. Diséñela para eliminar la tensión del cuello cuando se miren objetos, para que no haya encorvamientos ni flexiones, hay que suprimir giros a los lados o hacia atrás, y eliminar alcances y movimientos excesivos.

Los operadores se vuelven eficientes y permanecen saludables si se les permite trabajar a la altura adecuada, si se les da la oportunidad de laborar sentados o de pie, con suficiente iluminación, y con el espacio apropiado para realizar sus tareas.

La *altura correcta de trabajo* es la de los codos, más o menos 2 pulgadas. La fuente luminosa puede localizarse 2 pulgadas arriba de la altura de los codos, mientras que el trabajo pesado debe estar 2 pulgadas debajo de ellos. La altura de los codos se mide con el brazo paralelo al piso y el antebrazo vertical hacia abajo; hay que medir la altura de los codos a partir del piso. Ésta es la altura de trabajo. Un trabajo debe diseñarse para hacerlo sentado o de pie, pero la altura de los codos debe ser la misma, lo cual requiere que el diseñador calcule la altura de trabajo mientras está de pie, y que después mantenga dicha altura cuando esté sentado en una silla. Muchas estaciones de manufactura necesitan ser usadas por varias personas. Para conservar la altura de trabajo correcta hay que tener estaciones ajustables, diseñarlas para la persona más alta que la operará, y proveer plataformas para la persona más baja, o ajustar la altura de trabajo arriba de la estación.

La silla industrial necesita ser ajustable para mantener la altura de trabajo correcta. Debido a que la altura de trabajo depende del individuo, las sillas y las mesas tendrán que ser ajustables para operar con eficiencia. Dichos implementos se encuentran con facilidad en el mercado. La silla también debe ser confortable. Por lo general, esto significa que da apoyo a la espalda y un descansa pies ayuda al confort y reduce la fatiga en la parte inferior de ésta. La opción de trabajar sentado o de pie y las sillas cómodas dan al operador la oportunidad de desplazarse y reducen los efectos de la fatiga. Los pedales, los controles y los dispositivos que se operan con el pie o las rodillas eliminan los movimientos de las manos, pero hay que evitar su uso a menos que el operador se encuentre sentado.

En las condiciones normales de un departamento de manufactura podría no haber *iluminación adecuada*, por lo que debe agregarse una cantidad adicional, algo similar a lo que hace una lámpara de escritorio. Entre más cerca esté el trabajo, es más necesaria la iluminación. El problema es dónde colocarla. El mejor lugar es por arriba del trabajo y un poco hacia atrás, pero sin que haga sombras. Muchas fuentes luminosas se sitúan frente al trabajo, pero esto ocasiona deslumbramientos por la reflexión. Asimismo, es posible situar luces auxiliares a la izquierda o a la derecha del trabajo.

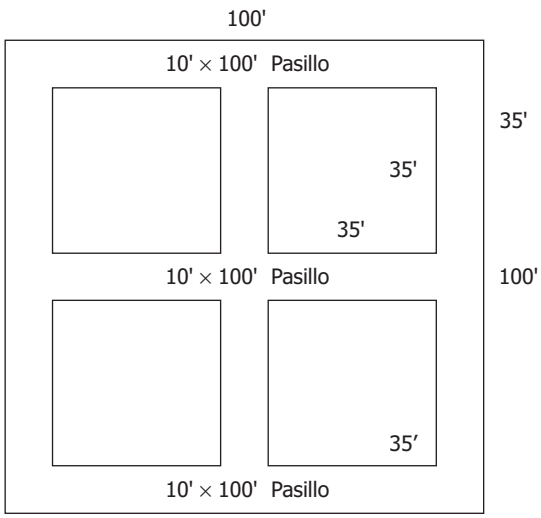
El *espacio del operador* debe ser de 3×3 pies, lo que es normal a menos que la estación de manufactura sea más amplia, pero se necesitan 3 pies multiplicados por el ancho de la estación. Por seguridad es adecuado contar con tres pies (91 centímetros) de distancia al pasillo, y que haya 3 pies de un lado al otro permitiendo que las partes se coloquen de modo confortable junto al operador. Si hay dos personas trabajando espalda contra espalda, entonces se recomienda que haya 5 pies (152 centímetros) entre las estaciones. Si las máquinas necesitan recibir mantenimiento y limpieza, debe proveerse un acceso de 2 pies (61 centímetros) alrededor de la estación. Si se necesitara para operar con eficiencia, el equipo móvil se colocará en esta área.

DETERMINACIÓN DE ESPACIOS

Para la mayoría de los departamentos de producción, el *procedimiento para la determinación de espacios* comienza con el diseño de la estación de manufactura. Mida la longitud y el ancho de cada estación de manufactura con el fin de determinar la superficie. Los siguientes datos se obtuvieron de las distribuciones de las estaciones que aparecen en las figuras 7-5 a 7-11 y figuras 4-12 y 4-13, en el capítulo 4.

	Longitud	×	*Ancho*	=	*Pies cuadrados*	×	*Número de estaciones*	*Total de pies cuadrados*	*Figura*
Sierra banda	12	×	8.5		102		2	204	7–5
Guillotina	15	×	5		75		4	300	7–7
Prensa de golpe	11	×	8		88		3	264	7–6
Prensa de disco	11	×	8		88		6	528	7–8
Roladora sistema	17	×	6		102		1	102	7–9
de pintado	100	×	28		2,800		1	2,800	7–11
Soldadura	34	×	28		952		1	952	4-12
ensamblado	38	×	16		608		1	608	4-13
					Total de pies cuadrados 5,758				
					× 150 por ciento = 8,637 pies cuadrados que se requieren				

Multiplicar el total de pies cuadrados por 150 por ciento permite que haya espacio adicional (que podría ser de 200 por ciento si la administración quisiera dar una distribución espaciosa o mayor tolerancia para las contingencias) para el pasillo, el trabajo en proceso y una cantidad pequeña de cuartos adicionales para distintas cosas. Esto no incluye sanitarios, comedores, primeros auxilios, cuartos de herramientas, mantenimiento, oficinas, almacenes, bodega, envíos o recepción. En los capítulos 8 y 9 se estudiarán los requerimientos de dichas áreas. Del 50 al 100 por ciento de espacio adicional que se agrega a los requerimientos para el equipo se usará, sobre todo, para los pasillos. Éstos consumen mucho espacio; por ejemplo, pensemos en la distribución de una planta de 100 × 100 pies, como se muestra:

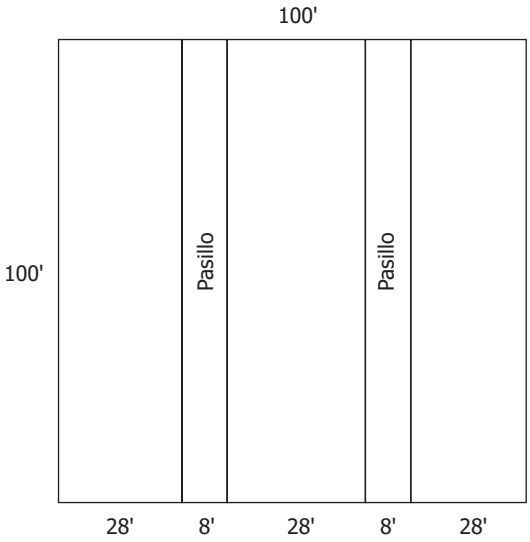


Un pasillo de 10 pies alrededor del área de producción eliminaría el hacinamiento junto a las paredes. Pero eso deja un área de 80 × 80 pies sin pasillos. Introduzca, entonces, pasillos cruzados de 10 pies. ¿Cuánta superficie empleó?

(3) pasillos de 100 pies de largo y 10 de ancho	=	3,000 pies^2
(3) pasillos de 70 pies de longitud y 10 de ancho	=	2,100 pies^2
Superficie total de los pasillos, en pies cuadrados		5,100 pies
Superficie total, en pies cuadrados (100 pies × 100 pies)		10,000 pies^2

$$\frac{5{,}100 \text{ pies}^2}{10{,}000 \text{ pies}^2} = 51 \text{ por ciento de pasillos}$$

El 50 por ciento de espacio adicional no sería suficiente ni para la mitad de esta clase de distribución de pasillos. Tendría que agregarse mucho más para una planta con 50 por ciento de su espacio ocupado por pasillos. Un plan mejor sería similar al siguiente:



Dos pasillos de 100 pies de largo y 8 de ancho son igual a 1,600 pies cuadrados.

$$\frac{1{,}600 \text{ pies}^2}{10{,}000 \text{ pies}^2} = 16 \text{ por ciento de pasillos}$$

Esto parece demasiado poco, pero observe la mejoría del 51 por ciento al 16. También se tiene mejor acceso a las áreas (áreas de 35 pies de ancho *versus* 28).

En esta área adicional de 50 por ciento se incluirían conceptos pequeños que requieran área, tales como un compresor de aire o una provisión de bebidas, pero los requerimientos más grandes de superficie deben diseñarse y planearse. El capítulo siguiente se aboca a esas áreas que requieren diseño de su espacio.

La figura 7-16 es un formato en blanco para que usted lo utilice. La figura 7-17 ilustra una estación de manufactura de la que ya se dispone comercialmente, y que puede proveer muchas configuraciones.

FRED MEYERS & ASSOCIATES HOJA DE DATOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO	
DESCRIPCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO:	FECHA:
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:	
DISEÑADA POR: NOMBRE DE LA EMPRESA:	UBICACIÓN:
FOTOGRAFÍA	DIBUJO DE LA DISTRIBUCIÓN
	ESCALA:
Notas de referencia/Cambios	
	ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINARIA

Figura 7-16 Hoja de datos de la distribución de maquinaria y equipo —formato en blanco.

Figura 7-17 Estación de manufactura (cortesía de Aero-Motive Manufacturing Co.).

PREGUNTAS

1. ¿Dónde comienza el diseño de la estación de manufactura? ¿Por qué?
2. ¿Cuál es el punto de inicio del diseño de la estación de manufactura? ¿Por qué?
3. ¿Qué debe incluirse en el diseño de la estación de manufactura?
4. ¿Cuáles son los principios de la economía de movimientos?
5. ¿Qué es eficacia?
6. ¿Qué es eficiencia?
7. ¿Qué es el 50 por ciento de espacio adicional que se agrega al requerimiento de superficie de la estación de manufactura?
8. Diseñe estaciones de manufactura para su proyecto y desarrolle los requerimientos del área de fabricación, en pies cuadrados.
9. Se dice que: "un buen trabajo, al igual que una buena máquina, debe diseñarse". Explique dicha aseveración. En términos del diseño de estaciones de manufactura, ¿qué significa?
10. Defina *ergonomía* y explique su importancia para el diseño de estaciones de manufactura.
11. ¿Qué es antropometría? ¿Cuáles son las consideraciones antropométricas en el diseño del trabajo?

CAPÍTULO

8

Requerimientos de espacio de los servicios auxiliares

Los departamentos de manufactura necesitan servicios de apoyo y éstos requieren espacio. El propósito de este capítulo es identificar dichos servicios, definir su propósito, determinar los requerimientos de las instalaciones y calcular los requerimientos de espacio. En una planta de manufactura hay muchas funciones de servicios por considerar, pero los centros de actividad que requieren la parte del león, en cuanto a espacio, son los siguientes:

1. Recepción y envíos.
2. Almacenamiento.
3. Guardar en bodegas.
4. Cuarto de mantenimiento y herramientas.
5. Instalaciones, calefacción y acondicionamiento de aire.

RECEPCIÓN Y ENVÍOS

Recepción y envíos constituyen dos departamentos por separado, pero tienen requerimientos similares de personal, equipo y espacio. Recepción y envíos podrían situarse uno junto al otro o en cada extremo de la planta. La ubicación de ambos departamentos tiene un gran efecto en el flujo de material dentro de ésta. El departamento de recepción es el inicio del flujo del material, mientras que el de envíos es el final.

Ventajas y desventajas de la recepción y los envíos centralizados

Un punto centralizado para la recepción y los envíos tendría las ventajas siguientes:

1. Equipo común.
2. Personal en común.
3. Mejor utilización del espacio.
4. Costos reducidos de las instalaciones (menos costos externos de construcción).

Cargar y descargar camiones son funciones muy parecidas, por lo que las instalaciones para ellas son similares. Tanto para recibir como para enviar se necesitan puertas de plataformas, plataformas, montacargas y pasillos. En algunas plantas podría tratarse de la misma plataforma. Con los requerimientos de personal ocurre algo similar. Los empleados de las oficinas de recepción y de envío son personas responsables que conocen el valor de las cuentas en orden, la identificación apropiada y el control de los activos más valiosos de la compañía.

Las desventajas del envío y la recepción centralizados son la congestión del espacio y el flujo de materiales. La congestión del espacio ocasiona lesiones, daño a los productos y pérdida de materiales. Sería un costoso error enviar afuera algunas de las partes nuevas que se acaban de recibir. El flujo de los materiales es más eficiente si pasara en forma recta a través de la planta: recibir en un lado de ella y enviar en el otro.

También existe la posibilidad de recibir en más de un lugar. La lámina de acero podría ingresar en la planta a través de un área propia, las partes terminadas entrarían en la planta cerca del ensamblado, mientras que todas las demás materias primas llegarían a una tercera área. El método más eficiente en cuanto a costo es hacer la elección correcta.

Elegir un lugar para hacer los envíos y las recepciones cerca los unos de los otros, o en lados opuestos de la planta, es una decisión difícil que se basa en el equilibrio de las ventajas y las desventajas. El resultado será un código de actividad A o X. El planeador de las instalaciones y la administración tendrán que hacer la elección y ésta dictará el flujo del material por la planta.

Efecto de la industria camionera en la recepción y el envío

La industria camionera influye en los departamentos de recepción y envíos. Está organizada a nivel nacional para que por la mañana se distribuyan materias primas y partes a las industrias, y para que recojan sus envíos por la tarde. Esto se conoce como *cantidades inferiores a una carga de camión* (ICC). Las cargas completas de camión se manejan en forma diferente, pero si se observan los orígenes de las materias primas se descubrirá que provienen de cientos de orígenes. Nadie esperaría que un camión arribara a la plataforma con una sola caja de partes, y una carga completa de éstas cubriría años del valor del inventario, por lo que las plantas utilizan transportes comunes. Un camión llega a la ciudad con muchas órdenes para muchas plantas. Ese vehículo, y muchos más, se descarga en la bodega de una compañía transportista local. Los materiales se ordenan por empresa para ser distribuidos a la mañana siguiente. Por la noche, se cargan los camiones locales para el reparto. Los materiales para plantas distintas podrían cargarse en el mismo vehículo: los de la primera parada son los últimos en cargarse, y los de la última se cargan en primer lugar. El camión se detiene en el departamento de recepción y se bajan muchos materiales y partes de las órdenes para ese día. Por la tarde, el mismo camión regresa y recoge los envíos. Un camión podría llevar 50,000 libras de envíos. Después, éstos se llevan a un centro o nodo de distribución en el que se ordenan de acuerdo con su destino. Luego, camiones interestatales recogen los envíos conforme pasan por una localidad dada.

Funciones del departamento de recepción

Entre las funciones de un departamento de recepción se encuentran las siguientes:

1. Auxiliar en el acomodo de un camión en la puerta de recepción de la plataforma.
2. Ayudar a descargar el material.
3. Registrar la recepción del número de contenedores.
4. Abrir, separar, revisar y contar el material recibido.
5. Preparar reportes de piezas excedentes, faltantes o dañadas, según sea necesario.
6. Preparar un reporte de recepción.
7. Enviar los artículos a los almacenes de materias primas o directo a producción (si fuera necesario).

Recepción de camiones

Los camiones arriban a las puertas de la plataforma de recepción, se bloquean las llantas, abren sus puertas, se coloca en posición un tablero entre el vehículo y el piso de la planta, y el conductor da al empleado de recepción una declaración que dice lo que se debe descargar.

Descarga

El material se retira del camión y se coloca en el área de maniobras de la plataforma. El empleado de recepción firma la declaración del chofer (que acredita la recepción de cierto número de contenedores) y el vehículo se va. No es necesario contar el material o verificar la calidad antes de que el conductor se vaya, pero cualquier daño visible en las cajas se asentaría en los documentos de éste.

Registro de lo que se recibe

Cuando el material se descarga, se verifica en un registro; con frecuencia, éste se denomina *registro de Bates*, debido al nombre de un número secuencial que se imprime y que se llama *impresión de Bates*. Ésta consiste en imprimir el mismo número tres veces antes de avanzar al siguiente. Dicho número se imprime en el registro de Bates, la etiqueta de empaque y el reporte de recepción. El registro de Bates tan sólo es el registro secuencial de la recepción del camión. Comienza con la fecha del calendario juliano (un número de tres dígitos que indica el día del año), los tres dígitos siguientes son el orden en que llegó el camión ese día. Por ejemplo, el 3 de julio es el día 185 del año, y éste es el 21er camión que llegó hoy. El registro de Bates mostraría lo siguiente:

Número de bates	*Compañía transportista*	*Número de contenedores*
185021	Arkansas Best Freight	15
185022	Allied	4

Abrir, separar, revisar y contar

Durante las primeras horas del día tal vez no haya tiempo para abrir un sólo contenedor a fin de verificar la mercancía en forma oficial, pero antes de que termine la jornada se debe abrir, separar, revisar y contar. Es una obligación abrir cada contenedor para verificar lo que hay dentro. La primera revisión es para cerciorarse de que todo lo que contiene tiene el mismo número de parte. Si no son el mismo artículo, entonces deben separarse y clasificarse por número, de modo que puedan almacenarse por separado. Después de la separación, debe efectuarse la inspección de la calidad para ver si se trata de lo que ordenó la compañía. Se requiere el examen visual y otro más profundo de los materiales para estar seguro de que se apegan a los estándares y especificaciones químicos, mecánicos o físicos de todo tipo. En este caso, el departamento de control de calidad tal vez requiera grandes instalaciones en el área de recepción. También debe revisarse la cantidad. Si el vendedor (proveedor) dijo que embarcó 10,000 partes y éstas no se contaron al recibirse, la empresa pagaría por artículos que nunca recibió.

Preparar reportes de piezas excedentes, faltantes y dañadas (EFyD)

Si la cuenta arroja excedentes, faltantes o partes dañadas se prepara un reporte EFyD y se envía a compras para que lo resuelva. También se reportan en este formato los daños sufridos durante el transporte, así como los problemas de calidad. Cada problema se convierte en un proyecto para el departamento de compras, que debe resolverlo con el proveedor, pero los "ojos y oídos" de la compañía están en el departamento de recepción. Se dice que la recepción es la clave para el banco de la compañía, porque el recibo produce miles de dólares.

Preparar un reporte de recepción

El reporte de recepción es el anuncio para el resto de la empresa de que se ha recibido un producto. Los proveedores reciben órdenes de compra para algunos de sus productos. A su vez, los proveedores crean una orden, la llenan, y adjuntan una copia de su orden de envío a la caja. Esto se denomina *lista de empaque*. Casi al mismo tiempo que el producto se embarca, se envía una factura (cuenta) por correo. Algunas compañías usan la lista de empaque del cliente para elaborar el reporte de recepción, pero es mejor tener el propio reporte uniforme para verificar las cosas; también proporciona un registro de lo que se recibe. Después de verificar la calidad y la cantidad, el departamento de recepción envía su reporte a contabilidad. El departamento de contabilidad (cuentas por pagar) recaba copias de la orden de compra, el reporte de recepción y la factura. La cuenta no se paga hasta recibir los tres documentos, la compañía paga sólo lo que recepción dice que llegó. Los errores pueden ser muy costosos. El reporte de recepción contiene la información siguiente: **1.** número de la orden de compra (OC), **2.** nombre y dirección del vendedor, **3.** fecha, **4.** número(s) de parte, **5.** nombre de la parte, **6.** cantidad, **7.** número de registro de Bates, y **8.** número de lista de empaque.

Enviar a los almacenes o a producción

Una vez que todas las funciones de recepción terminaron, el producto se envía a un área entre la recepción y los almacenes en espera de la disposición de enviarlo a los almacenes o a las operaciones de producción, en función de la urgencia. Ésta es el área que espera a los operadores de montacargas para que retiren el material de la plataforma de recepción.

Una parte significativa de los problemas asociados con estas operaciones manuales de identificar, contar, ordenar, meter en la ruta de trabajo, administrar el inventario, y los errores humanos que resultan, se elimina mediante el uso de tecnologías de identificación y captura de datos en forma automática (ICDA). Los clientes y los vendedores acuerdan una tecnología ICDA común, tal como la PDF417, un código de barras bidimensional. El código de barras, que genera el proveedor y acompaña al embarque, contiene toda la información relevante, tal como el número de parte, la cantidad, el precio, el destino, intercambio de datos electrónicos (IDA), transacciones, y cualquier otro dato que requiera el consumidor. Durante la recepción del embarque, los datos del código de barras se escanean y transmiten a la base de datos que está en la computadora de recepción con la información relacionada sobre el embarque. El uso de dicha tecnología de ICDA (existen más de 20 tipos diferentes de ésta) incrementa la eficiencia y la operación de los departamentos de recepción y otros más, y reduce o elimina en forma significativa los errores humanos "de dedo", cuando se teclean los datos.

Instalaciones requeridas por el departamento de recepción

Puertas para plataformas, rampas, pasillos, estacionamientos exteriores, espacio para maniobrar, corredores y oficinas, son algunos ejemplos de las instalaciones que se necesitan en los departamentos de recepción. Su número y tamaño dependen del producto o productos, el tamaño de éstos y las cantidades que se reciben.

Puertas para plataformas

El número de puertas para las plataformas depende de la tasa de arribos (camiones por hora) en las horas pico y la tasa de servicio (tiempo de descarga). Por ejemplo, si llegan 12 camiones durante una hora pico y toma 15 minutos descargar un vehículo promedio, se necesitarían tres puertas de plataformas. Quince minutos por camión permitirían descargar cuatro de ellos por hora por puerta, por lo que son necesarias tres de éstas.

Plataformas, elevadores y tableros para plataformas

Son herramientas que se usan para cubrir la brecha entre el piso de los edificios y la plataforma de los camiones, de modo que el material suba y baje con facilidad. Hay una gran diferencia en el costo de estas instalaciones. Se estudiarán con más profundidad en el capítulo 11, sobre el equipo para manejo de materiales.

Pasillos

Los pasillos que van de los camiones a la planta deben tener el tamaño adecuado para que opere el equipo de manejo de materiales, el material en movimiento y la frecuencia de los viajes. Por lo general, los pasillos hacia los vehículos miden 8 pies de ancho porque esto es lo que mide un camión, pero a veces éste se descarga por un costado y por medio de grúas de puente elevadas. Hay que planear dichas diferencias.

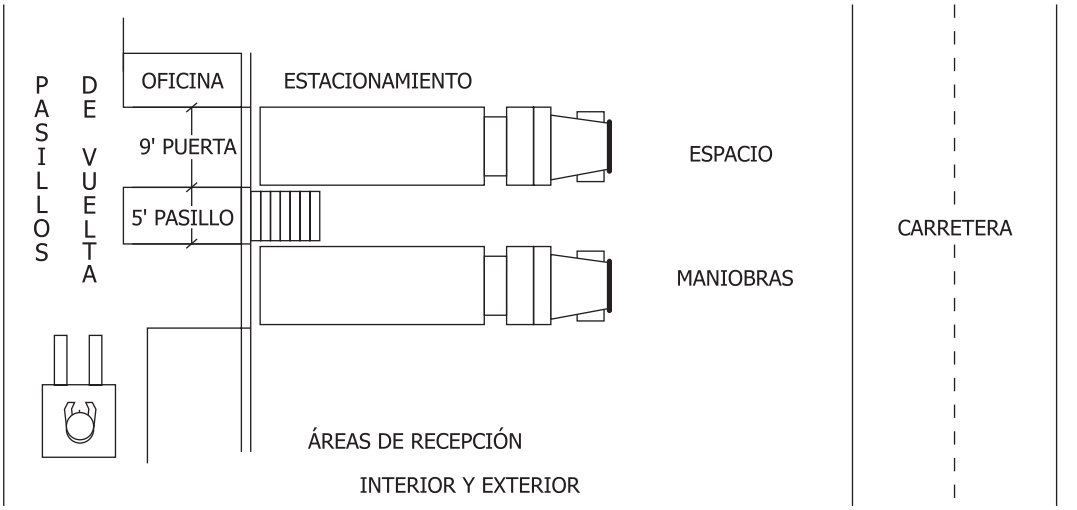


Figura 8-1 Área de recepción.

Áreas exteriores

El área que rodea el exterior de la plataforma de carga debe planearse (vea la figura 8-1). Las consideraciones sobre sus espacios deben tomar en cuenta lo siguiente:

1. Un sólo camión ocupa hasta 65 pies a partir de la pared de la planta.
2. El espacio de maniobra es aquél entre la carretera y el estacionamiento y, por lo general, es de 45 pies.
3. Las superficies de rodamiento miden 11 pies si son de un sólo sentido, o 22 si son de dos.

Oficinas

Las oficinas en la plataforma de recepción por lo común son muy pequeñas. Se necesita espacio para un escritorio, archivos para las órdenes de compra, registros de Bates y reportes de recepción, excedentes, faltantes y daños. En función del número de personas asignadas al área de recepción, son necesarios 100 pies cuadrados por empleado.

Requerimientos de espacio del departamento de envíos

El primer método para determinar el espacio para las plataformas de recepción consiste en visualizar el trabajo de recibir, con base en el número de productos terminados producidos por día y el peso de dichas unidades. Por ejemplo, si se fabrican 2,000 cajas de herramientas por día, y cada una pesa 5 libras, a diario, se requerirían 10,000 libras de acero. Por tanto, cada día se recibirían y enviarían 10,000 libras, en promedio. Algunos días serían 5,000 libras, otros 15,000; pero, en promedio serían 10,000 libras diarias. La plataforma de

recepción se dimensionaría para recibir 10,000 libras. ¿Cuál es la apariencia de 10,000 libras de acero? Considere que la carga de un camión es de 40,000 libras. Sólo se necesita un cuarto del espacio de carga del vehículo. Un tráiler mediano tiene 8 pies de ancho por 40 de largo, y el acero se apilaría a pocos pies de altura, por lo que 10,000 libras ocuparían un cuarto de esos 8 pies por 40 u 80 pies cuadrados. Multiplique esto por 2 para permitir la colocación de pasillos, oficinas, etcétera, y la plataforma sería de 160 pies cuadrados, cerca de 12 pies por 13, un área muy pequeña que podría tener una sola puerta. El área exterior para el estacionamiento es adicional. Las figuras 8-2 y 8-3 son ejemplos de los requerimientos de espacio del departamento de recepción.

El segundo método para determinar el espacio del departamento de recepción, es el *enfoque de la instalación*. Se necesitan los datos siguientes: **1.** puertas de las plataformas; **2.** pasillos; **3.** plataforma de descarga; **4.** área de manufactura para abrir, separar, contar e inspeccionar la calidad; **5.** área de oficinas, y **6.** superficie de espera antes de almacenar.

El área de espera podría tener capacidad para manejar 10,000 libras y ser ligeramente mayor para tener una superficie de trabajo que permitiera el paso a través de las pilas de materiales en espera. La superficie de oficinas es de 100 pies por persona (en este caso, no más de una persona).

Funciones del departamento de envíos

Las funciones del departamento de envíos incluyen lo siguiente:

1. Empacar los bienes terminados para enviarlos.
2. Escribir las direcciones en las cajas o los contenedores.
3. Pesar cada contenedor.
4. Recabar órdenes de envío (etapa).
5. Asignación de camiones.
6. Cargar camiones.
7. Generar cuentas exhaustivas.

Empacar los bienes terminados para enviarlos

Este proceso varía con el producto y el tipo de compañía. Una empresa puede tener miles de productos y un cliente que ordene cientos de ellos. Éstos se reúnen y empacan juntos. El empaque es una caja o parrilla, o incluso un contenedor de carga. Considere una compañía de herramientas de mano. Las órdenes se empacarían en cajas de cartón resistente. El empaque debe incluir la colocación cuidadosa de los artículos individuales, de modo que no se dañen durante el envío. Esto requiere envolver, apilar, proteger, e incluso, usar material diseñado especialmente para que absorba golpes. El peso del contenedor debe ser compatible con la capacidad del cliente para descargar el envío. Las estaciones de manufactura de empaque también deben considerar los principios de la economía de movimientos. De éstos, la altura adecuada de trabajo, buena iluminación y herramientas y materiales ubicados en forma conveniente, son sólo algunos de los que deben tomarse en cuenta. En la figura 8-4 se ilustra una estación de empaque común.

Escribir las direcciones en las cajas o los contenedores

Esto es necesario en el caso en que la orden se envíe en un transporte común (p. ej., ICC). Al igual que una letra, la orden (cajas) entra a un sistema con muchas otras, por lo que ca-

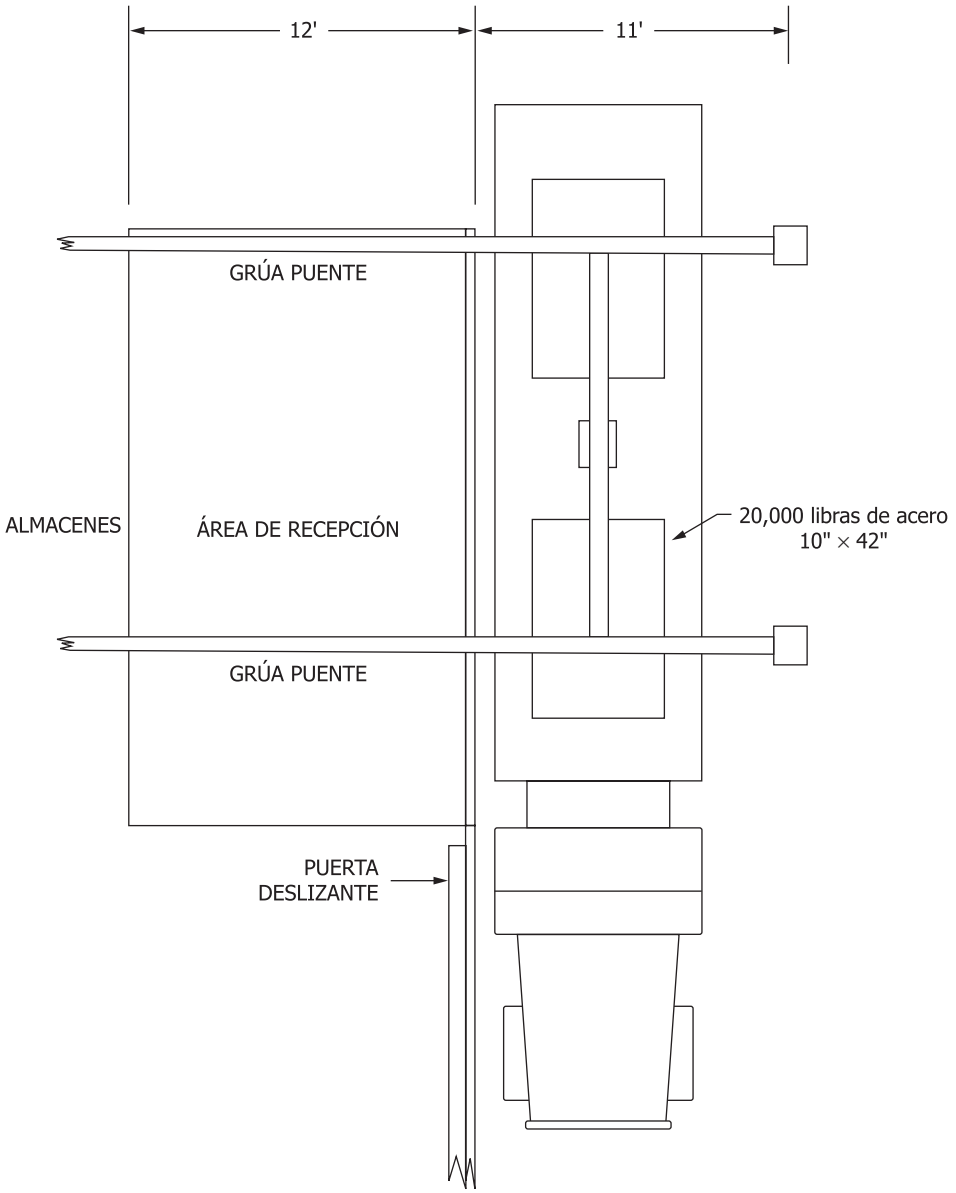


Figura 8-2 Plataforma de recepción del acero.

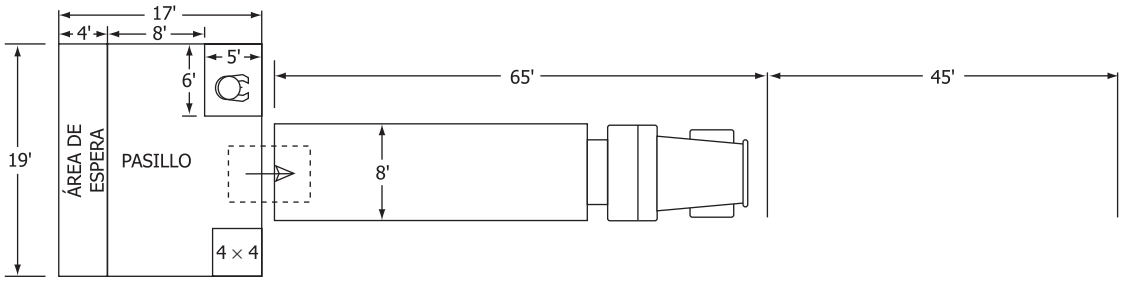


Figura 8-3 Exterior de la plataforma de recepción.

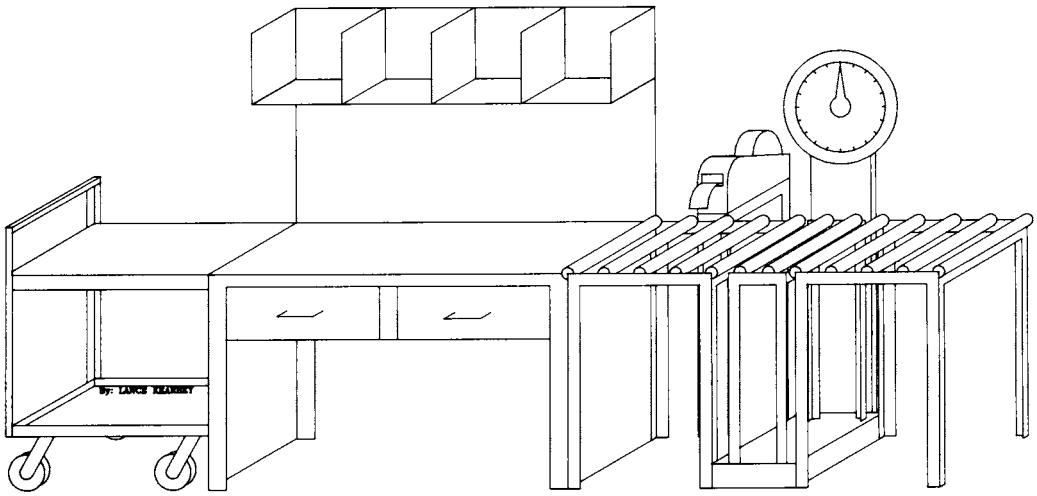


Figura 8-4 Estación de manufactura de empaque.

da caja debe tener dirección. Si son muchas las cajas que han de ir al mismo cliente, se usa un esténcil para generar la dirección en masa. Algunos sistemas tienen etiquetas de envío generadas por computadora, y otras utilizan una copia del remitente como etiqueta de dirección. El punto importante es que cada contenedor debe tener dirección. La eficiencia (o reducción de costos) determinará cuál sistema usar.

Pesar cada contenedor

Este proceso se requiere por varias razones. En primer lugar, la compañía transportista cobrará por libra, por lo que se necesita conocer el peso para determinar los costos de transporte. En segundo lugar, se usa alguna técnica de control de calidad para comparar el peso de cada orden con el peso individual de cada parte que se envía. Si el contenedor no pesa lo suficiente, a veces debe dejarse fuera. Si los contenedores pesan demasiado, es probable

que en la caja se haya colocado algo adicional. Si los clientes reciben el envío y reclaman un faltante, puede revisarse el peso para verificar la falta. Si el peso está bien se pregunta a los consumidores qué fue lo que hallaron porque el peso había sido el correcto. En tercer lugar, los camiones sólo pueden trasladar pesos máximos específicos. Debe asegurarse de no sobrecargarlos. Por último, el peso puede usarse como cifra de salida para los cálculos relacionados con la productividad. En un almacén, las libras que se envían se dividen entre las horas trabajadas para obtener un indicador del rendimiento de libras enviadas por hora-persona. Esta unidad es una indicación buena del rendimiento.

Como se ve en la figura 8-4, es posible tener básculas en el transportador de la línea o en el piso, de modo que los montacargas pesen parrillas de carga completas (vea las figuras 8-5 y 8-6).

Recabar órdenes de envío

Es frecuente denominar a éstas *órdenes por etapas*. La compañía usa cuatro empresas transportistas para mover su carga: una para todo lo que va hacia el Norte, otra para lo del Oeste, una más para el Sur, y la última para el rumbo hacia el Este. Conforme las órdenes se llenan y empacan, durante todo el día se colocan los envíos terminados en el área correspondiente de la etapa de la línea de camiones.

Asignación de camiones

Por la tarde, la compañía transportista envía un camión a recoger la carga. Esto se denomina asignación de un camión. Ciertas compañías con envíos grandes, acuerdan con el transportista que deje un vehículo en la planta todo el día. Después guardan los artículos en éste y así ahorran espacio de planta.

Cargar camiones

Si se utilizan plataformas es muy fácil cargar el camión. En la mayoría de éstos cabe un máximo de 18 plataformas, o 36 si se apilan en dos pisos.

Generar cuentas exhaustivas

Conforme se carga el vehículo se genera la cuenta exhaustiva. Ésta contiene cada orden y el peso del producto respectivo. Esta cuenta es la autorización para que el conductor del camión retire el producto de la planta y, eventualmente, regresará en forma de factura por el servicio de transporte.

Requerimientos de espacio del departamento de envíos

Como fue el caso del departamento de recepción, el de envíos y después los consumidores, mejoran sus operaciones en forma significativa y reducen el error humano como resultado de la aplicación de las tecnologías de identificación y captura de datos en forma automática (ICDA). El uso de un código de barras simplifica el proceso de seguimiento del artículo y garantiza que el embarque vaya acompañado de información relevante y precisa. La información necesaria se introduce por medio de un teclado o se escanea, y en cada paquete va impreso y adherido el código de barras.

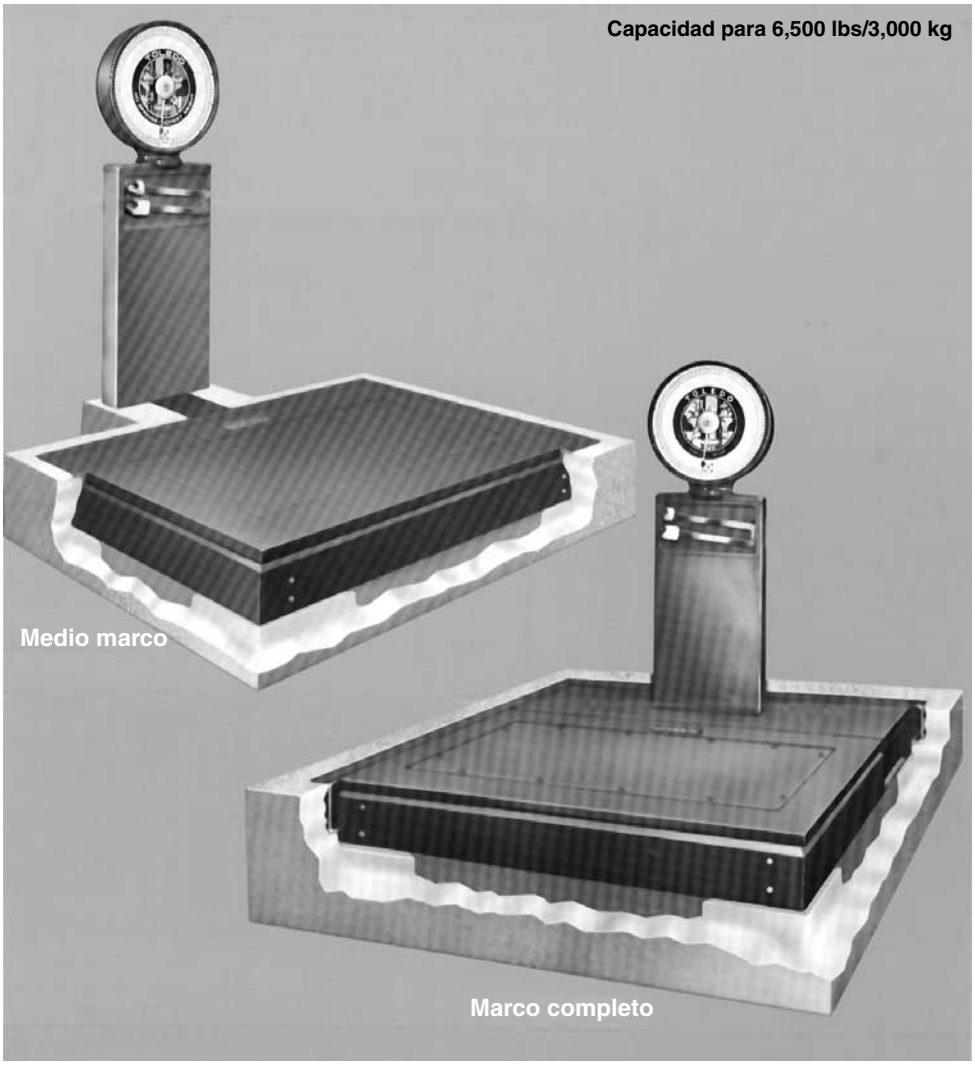


Figura 8-5 Básculas para vehículos (cortesía de Toledo Scales).

El espacio para los embarques debe incluir áreas de empaque, espera, pasillos, estacionamiento de camiones, superficies de rodamiento y oficinas. A veces se incluyen fuentes de sodas y sanitarios para los conductores. Igual que en el departamento de recepción, el peso

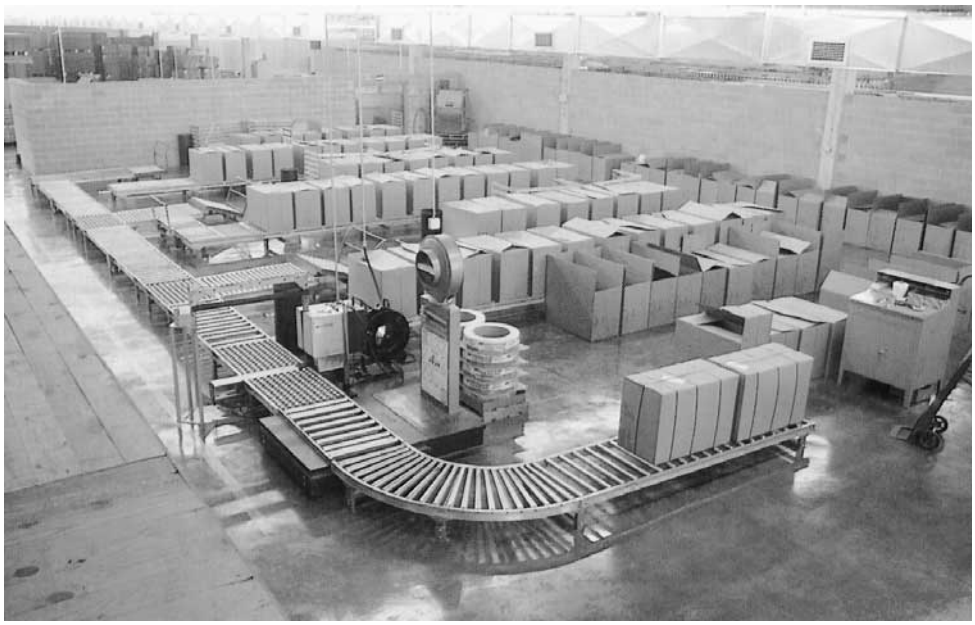


Figura 8-6 Empaque por enviar (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

total del embarque ayudará a que se visualice el tamaño de los envíos diarios. Dos mil cajas de herramientas al día multiplicadas por 5 libras de cada caja da como resultado 10,000 libras por día. Pero, una caja contiene mucho aire, por lo que, ¿cuántos pies cúbicos constituyen 2,000 cajas por enviar?

$$\frac{8 \times 8 \times 18 \text{ pulgadas}}{1{,}728 \text{ pulgadas cúbicas por pie}} = .66 \text{ pies cúbicos} \times 2{,}000 = 1{,}333 \text{ pies cúbicos por día}$$

Un camión mide 8 pies de ancho, 40 de largo y 7 de alto, que al multiplicarse dan 2,240 pies cúbicos.

$$\frac{1{,}333 \text{ pies cúbicos requeridos}}{2{,}240 \text{ pies cúbicos por camión}} = .6 \text{ camiones por día}$$

Se requiere una puerta para la plataforma. Se necesita espacio para almacenar (espera) el abasto de un día de envíos (1,333 pies cúbicos). Un espacio de 8 pies multiplicado por 40 pies y por 60 por ciento, es igual a 192 pies cuadrados para la espera. [La capacidad total del camión es de 8 pies que multiplica a 40, y es igual a 320 pies cuadrados. Sólo se utiliza el 60 por ciento (.6) de ella; por tanto, en este caso se multiplica la capacidad total por el 60 por ciento].

Si se multiplica por el 200 por ciento se obtendrá el espacio adicional necesario para pasillos y oficinas, pero no para el empaque. El empaque se basa en la distribución de la

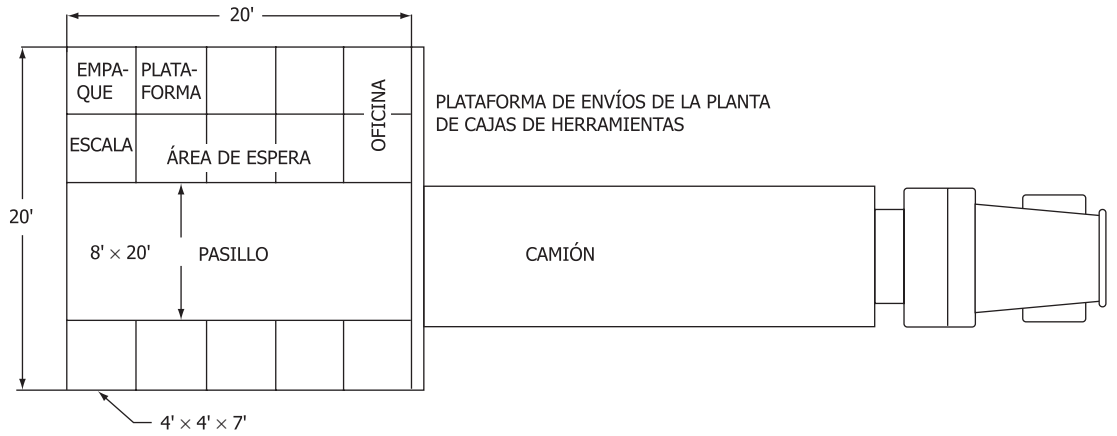


Figura 8-7 Superficie, en pies cuadrados, del departamento de envíos.

estación de manufactura (como la producción), pero el ejemplo de la caja de herramientas no necesita mucho empaque, sólo escribir la dirección y pesar. El departamento de envíos de la planta tendrá cerca de 400 pies cuadrados dentro de la planta más estacionamiento para un camión. Vea el ejemplo de la figura 8.7, acerca del departamento de envíos de la planta.

ALMACENAMIENTO

El término *almacenes* se usa para denotar el área reservada para guardar materias primas, partes y suministros. Hay muchos tipos de almacenes para guardar distintos artículos:

- Materias primas.
- Partes terminadas.
- Suministros de oficina.
- Suministros para el mantenimiento.
- Artículos de limpieza.

Cada uno de estos almacenes requiere espacio que debe considerarse al calcular los requerimientos totales, pero los que más necesitan son los de materias primas y partes terminadas. El interés principal estará en los almacenes de materias primas, pero el mismo procedimiento se usará para determinar el espacio de los demás.

Las necesidades de espacio de los almacenes dependen de la política de inventarios establecida por la compañía. La política podría ser tan explícita como proporcionar espacio para tener un suministro de materias primas suficiente para un mes, u otra más creativa brindaría superficie para almacenar una semana de suministro del artículo tipo A, dos semanas del tipo B, y un mes del tipo C. Los artículos son aquellas partes que constituyen el 80 por ciento del valor del inventario. Por lo general, el 20 por ciento de los números de parte forman el 80 por ciento del valor monetario. En una planta de ensamblado de automóviles, el

motor y la transmisión son las partes más caras del coche. Si se acepta que cada uno cuesta $4,000 del costo total de $24,000 (17 por ciento) y que hubiera más de 2,000 partes en un vehículo, entonces se tiene lo siguiente:

Clasificación del inventario	*Porcentaje de partes*	*Porcentaje de $*	*Política de inventario*
A	20	80	Una semana de suministros
B	20	15	Dos semanas de suministros
C	60	5	Un mes de suministros

En el ejemplo de la caja de herramientas, si se fabrican 2,000 por día, con un costo de material de $5 por cada una y un inventario de 20 días de suministros, se tendría $200,000 en inventarios. Un costo de llevar inventario de 25 por ciento se considera normal, por lo que el costo de tener un mes de suministros en inventario es de $50,000 por año. Si se rediseña el sistema y se instrumenta un sistema de inventario ABC, se reducirían los costos a 25 por ciento de llevarlo multiplicado por $65,000, lo que da como resultado $16,250.00 por año de mantener inventario.

A	80% por una semana	$40,000*
B	15% por dos semanas	15,000
C	5% por un mes	10,000
Valor total del inventario		$65,000

*80 por ciento de $5 por unidad por 2,000 cajas por 5 días, es igual a $40,000.

Habrá ahorrado $33,750 en el costo de llevar inventario. Entre menos inventario se tenga, menores serán los costos mientras no se carezca de material. Los inventarios grandes permiten administrar la producción de manera muy cómoda, no necesita preocuparse con frecuencia porque se acabe el material, pero, ¿a qué costo? El costo de llevar inventario sólo puede medirse llevándolo. El 25 por ciento incluye lo siguiente:

1. Costo de mantener el inventario de materias primas (digamos, cerca del 12 por ciento).
2. Espacio para guardar, calefacción, aire acondicionado e iluminación del material (8 por ciento, aproximadamente).
3. Costo de los impuestos, seguros, daños, obsolescencia, y otros parecidos (5 por ciento).

Estos costos son reales y no agregan valor al producto.

El costo de un artículo agotado del inventario que se usa en la línea de producción podría detener toda la planta, por lo que se necesita tener algo en inventario. Cuánto tener es decisión de la administración. Al considerar otra vez el artículo A se observa que el 20 por ciento de las partes forman el 80 por ciento del costo del inventario. La filosofía es que entre menos tenga de ese tipo de producto caro, será mejor. Pero necesitaría reordenarlo con una frecuencia cuatro veces superior a la del artículo C. Esto también significa cuatro envíos, cuatro recibimientos, cuatro órdenes, etcétera; por tanto, el costo de ordenar se incrementaría, pero sólo en el 20 por ciento más importante de los números de parte.

Inventarios justo a tiempo

El justo a tiempo (JIT) es la política de inventario que se hizo famosa en Japón. En un principio, los fabricantes dependían de que sus proveedores de partes las enviaran con una frecuencia de cuatro horas, con lo que se eliminaba la necesidad de tener una superficie destinada para almacenar el inventario de materias primas. El JIT depende del infalible desempeño de los vendedores. Aquellos que se localizan a grandes distancias de la planta tendrían que almacenar su producto en los alrededores de ésta. Este tipo de sistema de inventario reclama un compromiso corporativo total y relaciones muy especiales con los proveedores. El JIT afectará la distribución de la planta de muchas formas. Usted será capaz de lo siguiente:

1. Ajustar o eliminar la recepción y sus reportes, entre otras.
2. Eliminar la inspección de control de calidad de lo que llega.
3. Suprimir o reducir mucho los requerimientos de áreas de almacenamiento.

En este libro no se considera el JIT porque el diseño de una distribución para un sistema distinto del JIT es más difícil y, desafortunadamente, más común.

Los objetivos de cualquier departamento de almacenes deben ser los siguientes:

1. Maximizar el uso del espacio volumétrico.
2. Proporcionar acceso inmediato a todo (selectividad).
3. Velar por la seguridad del inventario, inclusive los daños y el control del número.

Maximizar el uso del espacio volumétrico

Maximizar el uso del espacio volumétrico requiere el uso de armazones, estantes y *mezzanines*, así como minimizar los espacios vacíos y para pasillos. Esto nos remite al criterio del número para el que se diseña un almacén: *dejar lugar para guardar sólo la mitad del inventario requerido.*

Para explicar este criterio de diseño, se necesita una gráfica de inventario (vea la figura 8-8). Los elementos de la gráfica de inventario incluyen lo siguiente:

1. *Unidades disponibles.* En el eje *y* (vertical); mide cuántas unidades de este número de parte permanecen en el inventario.

2. *Días.* En el eje *x* (eje horizontal); mide el día del año que representa hoy. En la vida de un producto, este eje podría ser largo, pero sería muy útil el valor de los datos de un año.

3. *Cantidad por ordenar.* Significa el número de unidades que se ordenan por vez. Si se ordenan partes de una caja de herramientas con el valor de una semana, se ordenarían 10,000 juegos de partes (2,000 por día). Cuando este material llegue, se agregarán 10,000 unidades al inventario existente. Esto crearía una línea vertical de 10,000 unidades de altura a partir del inventario que hubiera ese día.

4. *Uso normal.* Línea de tendencia que indica el balanceo que hay al final de cada día. La planta de cajas de herramientas usaría las partes a razón de 2,000 juegos por día.

5. *Uso mínimo.* Tasa de producción más baja a la que se usan las partes. Habitualmente, éste sería sólo un poco menor que el uso normal; de otro modo no se llegaría a la meta de 2,000 unidades por día. Si se queda por debajo de lo programado es probable que se trabaje el sábado para alcanzarlo (y que el inventario sea usado).

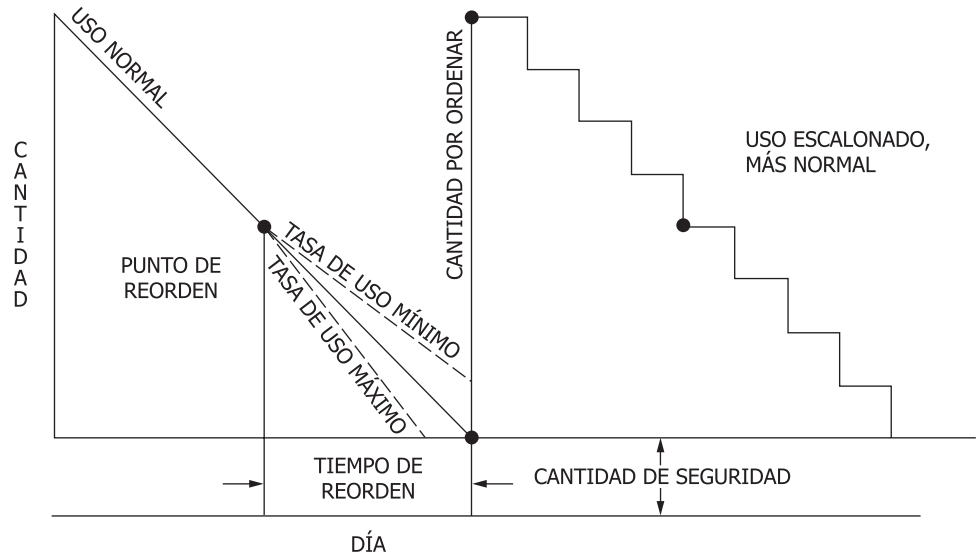


Figura 8-8 Curva de inventario —una curva por número de parte.

6. *Uso máximo.* Es la tasa de producción más rápida a la que se usan las partes. De nuevo, si fuera mucho más rápido de lo planeado, se tendría un inventario de bienes terminados en la bodega y tendría que hacerse un ajuste en la programación; de otro modo, habría déficit de partes. Se desea tener una provisión de inventario adicional para que eso no suceda (vea el concepto 8, cantidad de seguridad).

7. *Distribución normal entre las tasas de uso mínimo y máximo.* La tasa de uso normal es como cualquier otra curva de distribución normal. Esto indicaría que en la mitad de ocasiones la tasa de uso es más rápida de lo normal, y en la otra mitad es menor, pero no por mucho. Con objeto de que no haya déficit, considere la tasa de uso máximo para determinar la cantidad de seguridad.

8. *Cantidad de seguridad.* Se requiere debido a las variaciones en la tasa de uso y el tiempo para reordenar, es el inventario adicional que debe llevarse de modo que no haya déficit de inventario, o de modo que suceda sólo una vez en 100 periodos de reorden (1 por ciento de déficit). La curva de distribución establecerá qué tan grande debe ser la cantidad de seguridad con el fin de que satisfaga el nivel de servicio deseado.

9. *Puntos de reorden.* Es el nivel del inventario (en unidades existentes) en el que es necesario pedir de nuevo material para impedir un déficit. En tanto la orden se procesa y envía a la planta, se utiliza el inventario (la cantidad disminuye). El punto de reorden se calcula mediante la tasa de uso y el tiempo de reorden.

10. *Tiempo de reorden.* También se conoce como *tiempo en déficit,* y es el tiempo (en días) que transcurre entre la orden de material nuevo y la recepción de éste en los almacenes. Si se necesitan 10 días para generar una requisición, hacer la orden de compra y enviarla por

correo a la compañía proveedora, ésta atiende la orden y la envía, se recibe el pedido y se almacena. Entonces, en el momento de reordenar se necesita que haya material disponible para 10 días de operación. En el ejemplo de la caja de herramientas, para el que se producen 2,000 por día y se tiene una cantidad de seguridad de 1,000 unidades, el punto de reorden sería de 21,000 unidades (2,000 veces 10 días más 1,000 unidades). Si el inventario bajara de 21,000 unidades se reordenaría otra cantidad. La cantidad por ordenar se calcula con el empleo de una fórmula para minimizar el costo total, pero ése es tema de una clase sobre control de inventarios y producción.

11. *Uso escalonado.* Es más realista. Conforme la producción requiere partes, demanda el suministro de un día a la vez. El nivel del inventario disminuye en la provisión de un día, no en una unidad a la vez.

La curva de inventario explica por qué y cómo puede proveerse lugar para sólo el 50 por ciento del inventario requerido. Mire la curva de inventario (vea la figura 8-8). ¿Cuánto inventario se tiene el día en que llega una orden nueva? ¿Cuánto inventario se tendrá el día anterior a la llegada del inventario? Las respuestas son máximo o mínimo. ¿Cuánto inventario se tiene en promedio? Respuesta, 50 por ciento. Ahora, si se asignara lugar en el almacén para la cantidad máxima de inventario, ¿qué tan lleno estaría? En promedio sólo estaría lleno al 50 por ciento, es decir, a la mitad. Ésta no es una buena utilización del espacio volumétrico. Para hacer mejor uso del volumen del edificio, hay que asignar lugar para sólo el 50 por ciento, aproximadamente. Por tanto, no puede asignarse una parte a ningún lugar, porque no habría lugar suficiente cuando llegaran los suministros nuevos. Entonces, los artículos se guardan en ubicaciones al azar del almacén, en función de la disponibilidad de espacio en el momento en que llegue un artículo dado del inventario. Archivos de localización especiales dan seguimiento a la ubicación de cada inventario en el almacén. Los archivos de localización son sistemas sencillos de registros de papel, o bien, datos que se almacenan en medios electrónicos. El uso del código de barras y otras tecnologías de ICDA se extiende al registro de la localización de artículos y el nivel del inventario en el almacén, y permite que el sistema emita órdenes de compra en forma automática con base en puntos de reorden predeterminados.

Proporcionar acceso inmediato a todo (selectividad)

El segundo criterio de diseño para la distribución de los almacenes se relaciona con las *ubicaciones aleatorias.* Deje cualquier cosa en cualquier lado, pero registre donde la dejó. Por claridad, las plataformas van en armazones para plataformas, no en estantes, y el acero almacenado está en otra área. Pero dentro de los armazones es posible dejar cualquier cosa en cualquier lugar.

Se necesita un *sistema de localización* para dar seguimiento a qué se puso en cuál sitio. Un sistema sencillo de ubicación sería asignar una letra a cada pasillo. Numere cada ubicación de plataforma, como se aprecia en la figura 8-9.

Las filas A, B, C, D, E y F son estantes con plataformas (vea las figuras 8-10a y 8-10b).

Las filas G, H, I y J son armazones (vea la figura 8-11).

Con cuatro estantes por fila, dos plataformas por entrepaño y cinco entrepaños de altura, en cada fila habría 40 plataformas. El nivel "b" de la fila C, plataforma 6 estaría seis plataformas abajo de dicha fila y en la segunda plataforma hacia arriba. En la dimensión vertical, la

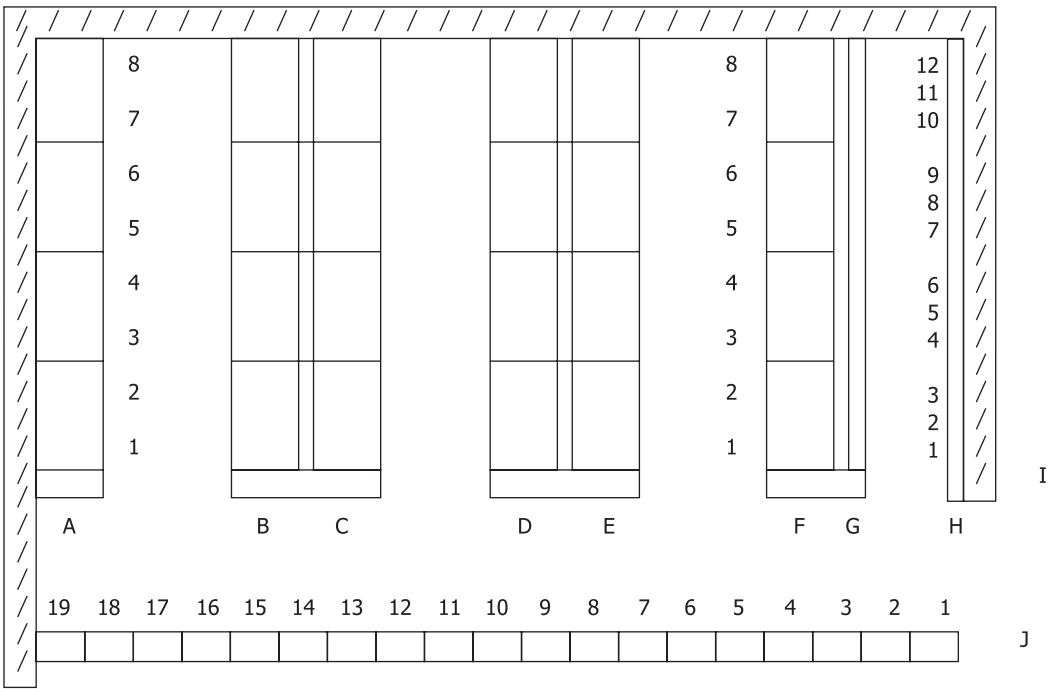


Figura 8-9 Distribución de un almacén —sistema de localización.

"a" sería el piso, la "b" estaría en el siguiente nivel, y la "e" sería el más alto. El entrepaño "e" siempre estaría en lo más elevado, y la "a" en lo más bajo.

La figura 8-11 es un estante de seis entrepaños, cada estante mide 3 pies de ancho 1 de profundidad y 1 de alto. Las filas G, H, I y J son estantes. La fila I es una fila de estantes al final de las plataformas.

Ahora, cada ubicación del almacén tiene un código de localización. Se pide al almacenista que ponga la carga de una plataforma con número de parte 1750-1220. El operador del montacargas conduce al primer espacio abierto y deposita la plataforma. Después, el almacenista hace una etiqueta de localización como la que se aprecia en la figura 8-12. Se necesitan dos copias: una se adjunta a la plataforma y otra se guarda en el mostrador de control del almacén en orden, según el número de parte.

Ahora, en producción se necesitan algunas partes con número 1750-1220. La requisición llega al mostrador de control del inventario. El almacenista busca el número de parte 1750-1220 en el archivo de tarjetas, encuentra la plataforma con la cantidad más parecida a la que se pidió o la etiqueta más antigua, y va a la ubicación a recuperar los artículos. La etiqueta se retira y envía a procesamiento de datos para reducir el inventario. El departamento de control de inventarios había agregado en forma previa este inventario de un reporte de recepción.

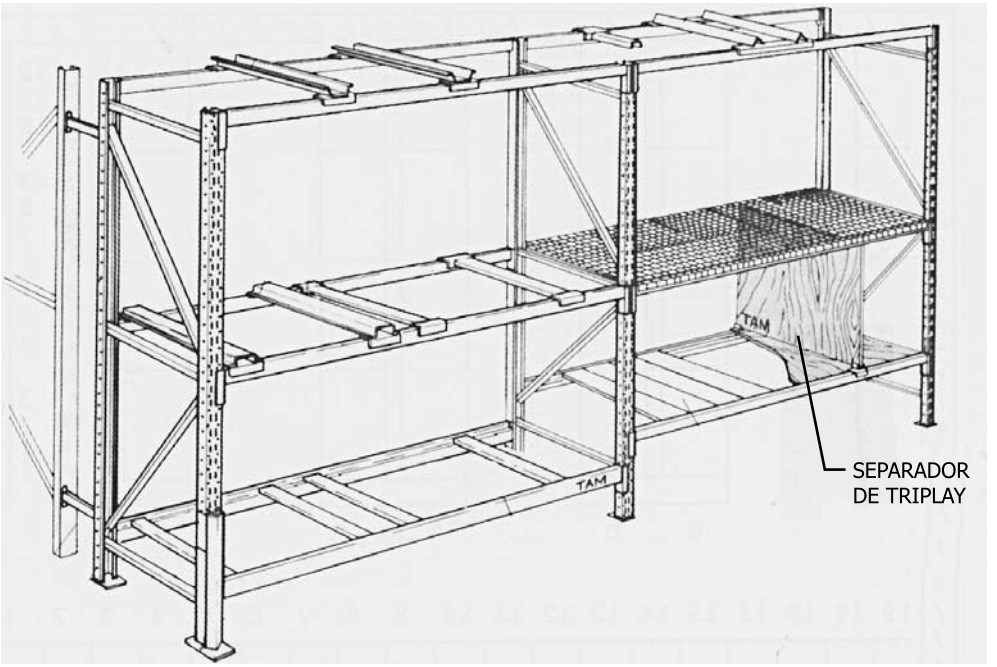


Figura 8-10a Armazón industrial para plataformas (cortesía de Triple-A Manufacturing).

Hoja de cálculo para los requerimientos de las instalaciones de almacenamiento

Cada parte debe medirse en cuanto a su volumen, éste se multiplica por el número de partes que se van a guardar y se convierte a pies cúbicos (vea la figura 8-13). El procedimiento para calcular el tamaño del almacén comienza con el análisis de las necesidades de espacio de almacenamiento, como sigue:

1. Enlistar todas las materias primas y las partes adquiridas en el exterior. Éstas serán las columnas 1 (número de parte) y 2 (nombre de la parte).

2. Después de cada parte, enliste la longitud, el ancho, el alto y las pulgadas cúbicas de cada parte (columnas 3, 4, 5 y 6).

3. En la columna 7 estará la cantidad establecida por la política de inventarios dividida entre 2 (lo que deja lugar sólo para la mitad del inventario.

4. La columna 8 muestra los pies cúbicos que se requieren. Éste es el resultado de multiplicar la columna 7 por la 6 y dividir entre 1,728 (número de pulgadas cúbicas que hay en un pie cúbico).

5. Las columnas 9, 10 y 11 enlistan el número de unidades de almacenamiento que requiere cada parte. La columna 9 sería el almacenamiento en entrepaños. Los pies cúbicos por debajo de 10 se colocarían en los entrepaños. Cada entrepaño tiene 3 pies cúbicos ($1 \times 1 \times 3$ pies). La columna 10 sería para las plataformas. Los requerimientos de espacio

Figura 8-10b Armazones para plataformas (cortesía de White Storage & Retrieval System, Inc.).

de almacenamiento por arriba de 10 pies cúbicos y hasta 192, se colocarían sobre plataformas en los estantes para éstas (una plataforma mide $4 \times 4 \times 4$ pies, es decir, 64 pies cúbicos por carga unitaria. Algunos artículos se colocarán en el piso y se apilarán tres plataformas hacia arriba y tres hacia abajo (vea las figuras 8-14a y 8-14b).

Los resultados arrojados por la hoja de cálculo de los requerimientos de instalaciones de mantenimiento son el número que se necesita de entrepaños, armazones para plataformas y áreas de almacenamiento de cantidades grandes. En la figura 8-13 se aprecia que son necesarios 1,200 entrepaños, 1,000 espacios para plataformas y 20 áreas para almacenar cantidades grandes. El paso siguiente es determinar cuántos entrepaños comprar y cuántos armazones para plataforma colocar. Ya se ilustró en la figura 8.11 una unidad de entrepaños. ¿Cuántas de éstas se requieren? (Los 1,200 entrepaños divididos entre 6 por unidad son iguales a 20 unidades de entrepaños.) Se usa el mismo método para los armazones para plataformas. En la figura 8-10 se muestran 10 plataformas por armazón. Se necesitan almacenar 1,000 plataformas, por lo que se requieren 100 armazones para éstas. Ahora ya estamos muy cerca de la distribución del almacén. Se sabe que es necesario tener 200 unidades de entrepaños, 100 armazones para plataformas, y 200 unidades de almacenamiento grandes. ¿Cómo se distribuirá esto?

La figura 8-15 (p. 246) muestra cómo se desarrollaron los requerimientos de espacio para almacenamiento en la planta de cajas de herramientas. La figura 8-16 (p. 247) ilustra la distribución resultante de los almacenes en dicha planta.

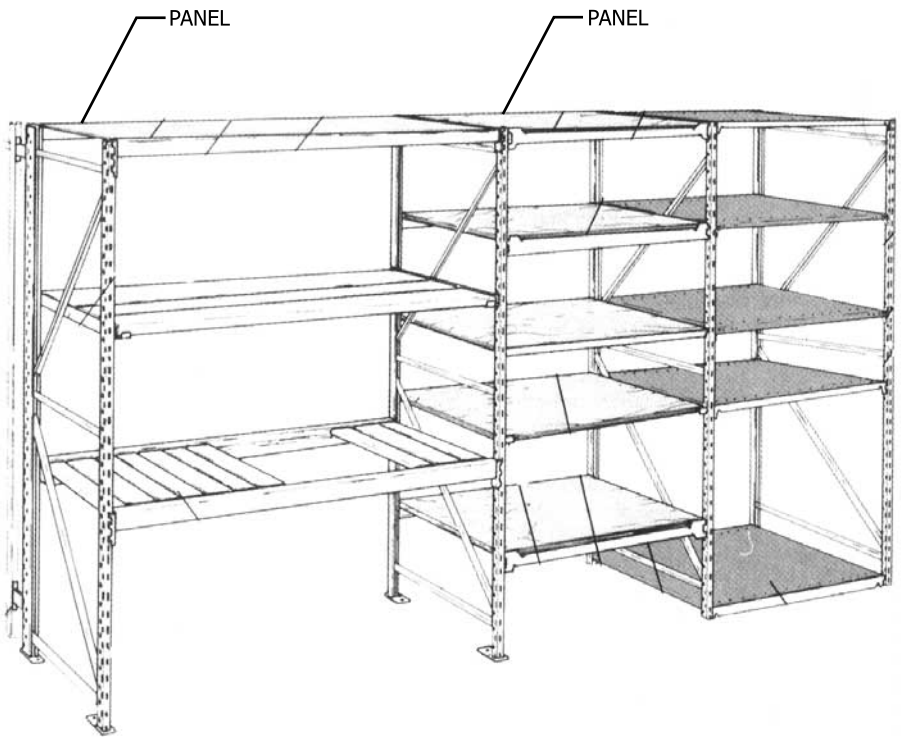


Figura 8-11 Entrepaños industriales (cortesía de Triple-A Manufacturing).

Longitud de pasillos

El concepto de longitud de pasillos es muy útil. La *longitud de pasillos* ayuda a determinar el espacio necesario. Visualice un armazón (use la figura 8-11, si es necesario). Una unidad de armazón mide 3 pies de ancho. En el pasillo deben colocarse estos 3 pies abiertos; por tanto, un armazón tiene la necesidad de 3 pies de pasillo. Como se requieren 200 armazones de 3 pies de longitud de pasillo cada uno, entonces se necesitan 600 pies de pasillo. Otra forma de pensar en esto es que si se ensamblan 200 unidades de armazones y se colocan una junto a la otra, ocuparían un pasillo de 600 pies de largo. Una fila de 600 pies es demasiado larga, pero ¿2 filas de 300 pies, o 10 de 60 pies? Hay una flexibilidad casi ilimitada para hacer la distribución. Los pasillos para albergar entrepaños son mucho más pequeños que aquéllos para armazones para plataformas, por lo que se usará un pasillo de 4 pies de ancho (en un capítulo posterior los pasillos serán estudiados con mayor profundidad).

¿Cuántos pies de pasillo de armazones para plataforma se necesitan? (Calcule: 100 armazones para plataforma multiplicados por 9 pies de ancho, es igual a 900 pies de pasillo.) De nuevo, podrían usarse 6 filas de 150 pies o 15 de 60 pies. En el ejemplo, las unidades de almacenamiento en el piso son de 4 pies de ancho. Se requieren 20 unidades de almacenamiento en piso (4 por 20 pies es igual a 80 pies de pasillo).

ETIQUETA EN BLANCO

NÚM. DE PARTE: _____

CANTIDAD: _____

FECHA: _____

UBICACIÓN: _____

ETIQUETA LLENA

NÚM. DE PARTE: 1750-1220

CANTIDAD: 1500

FECHA: 12/3/XX

UBICACIÓN: BIC

Figura 8-12 Etiqueta de ubicación.

1 *Núm. de parte*	*2* *Nombre de la parte*	*3* *L* ×	*4* *W* ×	*5* *6* *H = pulg³*	*7* *Q/2*	*8* *pies³*	*9* *Entrepaño 3 pies³*	*10* *Plataforma 64 pies³*	*11* *Piso 576 pies³*
1	Abrazadera	18	½	½	10,000				
2	Cuerpo	12	6	2	5,000				
3	Lavador	½	DA	⅛	20,000				
4	Tuerca	½	DA	¼	20,000				
5	Remache	¼	DA	2	20,000				
6	Tapa	12	6	1	5,000				
7	Bisagra	6	1	1	10,000				
8	Asa	7	½	3	10,000				
9	Tornillo	¼	DA	⅜	100,000				
10	Caja de cartón etcétera, 990 otras partes	24	16	¼	10,000				
1,000	Folleto	8 ½	11	.020	20,000				
	Total de unidades de almacenamiento						1,200	1,000	20

Figura 8-13 Hoja de cálculo de requerimiento de instalaciones de almacenamiento.

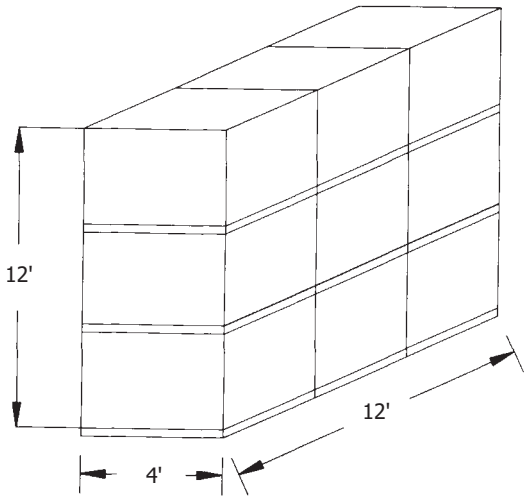


Figura 8-14a Almacenamiento en el piso —tres plataformas en lo alto y tres de profundidad ($4 \times 12 \times 12 = 576$ pies cúbicos).

Figura 8-14b Almacenamiento en el piso (cortesía de White Storage & Retrieval System, Inc.).

Núm. de parte *Núm. de caja*	*Nombre de la parte*	*L* × *W* × *H* = *pulg*^{3}	*Q/2*	*pies*^{3} *necesarios*	*Entrepaño* 1 × 1 × 3 *pies*	*Plataforma* 4 × 4 × 4 *pies*	*Piso* 10 × 3.5 × 3 *pies de alt.*
1	Asa	6 × 1 × 1 = 6.000	22,000	76		2	
2	Sujetador del asa	1 × 1 × ½ = .5	44,000	12.7	5		
4	Remache	6 × 6 × 6 (10,000)	88,000	1.1	1		
2	Sujetador	¾ × ½ × ¼ = .094	44,000	2.3	1		
2	Separador	1 × ¾ × ¼ = .188	44,000	5	2		
8	Remache	6 × 6 × 6 (10,000)	176,000	2.2	1		
2	Bisagra	6 × ½ × ⅛ = .375	44,000	9.5	4		
4	Remache	6 × 6 × 6 (10,000)	88,000	1.1	1		
1	Etiqueta para el nombre	3 × 1 × .02 = .06	22,000	.7	1		
1	Lista de empaque	8½ × 5½ × .005 = .234	22,000	3	1		
1	Folleto	8½ × 5½ × .05 = 2.34	22,000	30		1	
1	Caja	36 × 24 × ¼ = 216	22,000	2,750		43	
1	Bolsa de plástico	10 × 6 × .03 = 1.8	22,000	23		1	
#5	Acero*	5 libras 22 ga.	110,000	220			2
		Total			17	45	2

El almacén para las cajas de herramienta sólo necesita:

Tres unidades de armazones	= 9 pies de pasillo
Cinco anaqueles para plataformas	= 45 pies de pasillo
Dos áreas de almacenamiento en piso	= 20 pies de pasillo

Ésta es una distribución muy sencilla, pero el acero se recibirá y almacenará en áreas diferentes.

*El acero pesa 500 libras por pie cúbico y viene en dimensiones de 42 × 120 × 18 pies de altura.

Figura 8-15 Requerimientos de espacio para almacenamiento —suministro para 22 días con 2,000 cajas de herramientas por día.

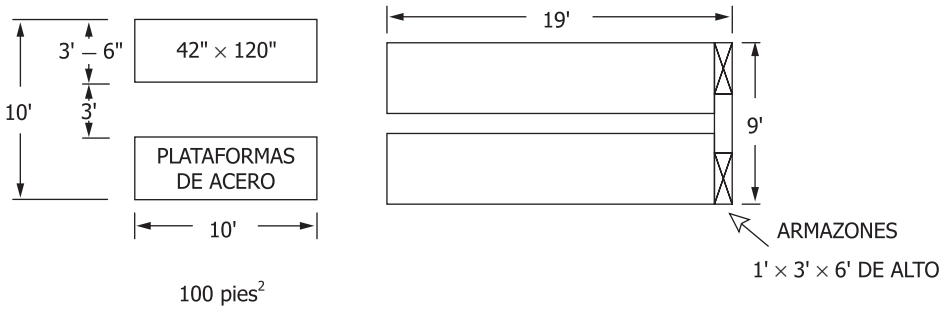


Figura 8-16 Distribución de los almacenes para las cajas de herramientas.

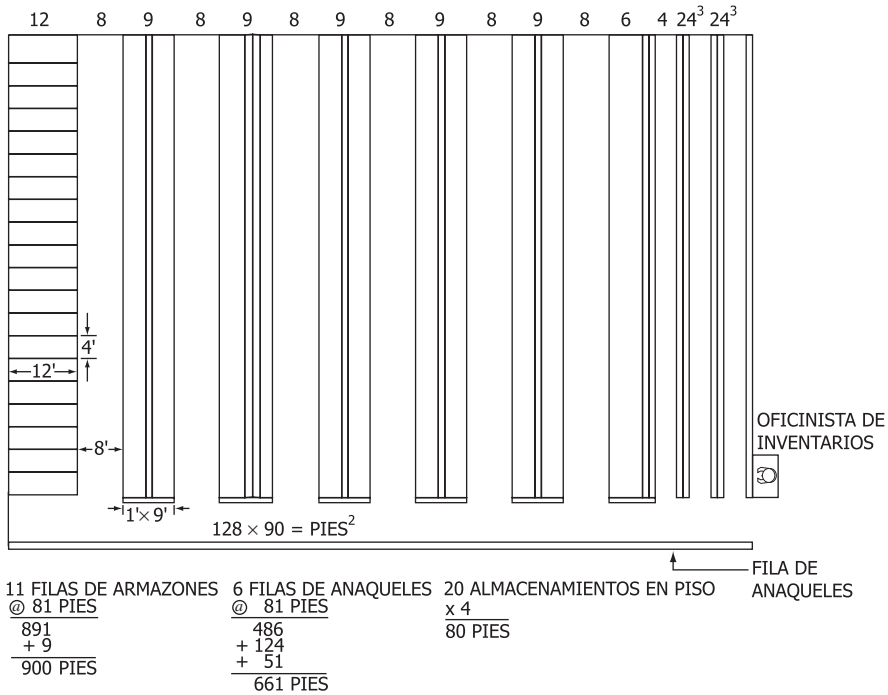


Figura 8-17 Diseño del espacio de almacenamiento.

Se necesitan montacargas para dar servicio a los anaqueles para plataformas y áreas de almacenamiento en piso, también se requieren pasillos de 8 pies de ancho para el equipo. En este momento se cuenta con toda la información para hacer la distribución del almacén. Esa información muestra 600 pies de pasillo para anaqueles, 900 pies para armazones, 80 pies de piso para almacenar, y pasillos de 4 y de 8 pies.

Paso 1. Se comienza con un muro y se deja la zona de almacenamiento que va en el piso contra éste (vea la figura 8-17).

Paso 2. Se colocan 900 metros de pasillo de anaqueles de plataformas con pasillos de servicio de 8 pies. (Recuerde, los anaqueles son múltiplos de 9 pies. Ochenta y uno tienen nueve secciones de 9 pies de longitud. No es posible hacer cien filas porque este número no es divisible entre 9, 99 o 108 pies.)

Paso 3. Asigne 600 pies de pasillo de armazones en pasillos de 4 pies. Observe en la figura 8-17 que se usan 124 pies de ellos para crear una pared entre la producción y los almacenes. Esto se diseñó así para generar un sistema de seguridad en el que todos los movimientos tuvieran lugar a través de una puerta bajo control. Asimismo, note que 9 pies de armazones se utilizan como CAPS en los extremos de las filas de los anaqueles para plataformas. Esto constituye un buen uso de los pasillos. Emplear ambos lados de un pasillo es mucho más eficiente.

Brindar acceso inmediato a todo es el segundo objetivo de un departamento de almacenes. En la recepción, se separa y revisa todo. Los almacenes deben conservar los artículos separados y proporcionar localizaciones diferentes para las distintas partes. El propósito de esto es mejorar la eficiencia. Cuando se necesite algo, el almacenista no debe detenerse, buscar y después llevar las partes a producción. Esto consume demasiado tiempo.

Proporcionar almacenamiento seguro

Como ya vio, el almacenamiento correcto dará seguridad a los activos valiosos. Si se cuenta con equipo de almacenamiento apropiado como anaqueles, armazones y camiones, los productos se protegerán. Los buenos contenedores evitan el contacto con el polvo y la suciedad. La otra parte de la seguridad es evitar el retiro no autorizado del inventario. Aun los supervisores mejor intencionados provocan faltantes si remueven parte del inventario sin modificar los registros. Parte importante del diseño de un almacén es un punto de seguridad para revisar y establecer restricciones para el ingreso.

Por lo general, las placas de acero llegan a la planta en plataformas de 42 pulgadas por 120. Los tubos y las barras vienen en tramos de 12 pies de longitud. Se necesitan armazones y áreas del piso especiales para almacenar este material. Asimismo, es indispensable equipo especial de manejo de materiales. Este concepto se analizará en los capítulos 10 y 11.

GUARDAR EN BODEGAS

Guardar en bodegas es el almacenamiento de los productos terminados. Como en el almacén, el requerimiento de área dependerá de las políticas de administración. La estacionalidad requiere que los productos acabados se guarden durante meses a fin de satisfacer las demandas del mercado. A veces se rentan bodegas en el exterior para manejar la sobrecarga. Nadie esperaría que manufactura produjera todas las parrillas de carbón un mes antes de la estación de venta veraniega. Tienen que guardarse en algún lado. La administración debe comunicar a los planeadores de las instalaciones el espacio que deben considerar para determinado número de unidades o el suministro de determinados días.

Una bodega varía entre un departamento o un edificio completo. Aquí se estudiará, en primer lugar, el departamento, pero todo ingeniero y administrador debe conocer las diferencias importantes entre los dos tipos de bodega. El *edificio de bodegas* es el lugar al que la compañía (que podría tener muchas plantas de manufactura) envía su producto terminado.

Asimismo, es posible que la empresa tenga muchas bodegas externas. La *distribución* es la función por la que varias plantas de fabricación envían sus productos a las bodegas con el fin de atender a los clientes de la compañía. El sistema de distribución de una compañía intenta minimizar el costo de llevar su producto a los consumidores, al mismo tiempo que les brinda un buen servicio. El edificio de bodegas tendrá un departamento de recepción, uno de almacenes, uno de bodega, uno de envíos y una oficina. El departamento de almacenes en un edificio de bodega tendrá el mismo propósito que su equivalente en la planta de manufactura.

El *departamento de bodega* (en adelante lo llamaremos solamente *bodega*) tiene el propósito principal de salvaguardar el producto terminado de la compañía. El departamento de almacenes conserva las materias primas y los suministros, mientras que en la bodega están los artículos ya acabados. Después de ensamblarse y empacarse, los bienes terminados se llevan a la bodega, donde permanecen hasta que llega el momento de enviarlos a los consumidores.

Criterios de diseño de bodegas

Embodegar consiste en almacenar, llenar la orden y preparar el envío de los productos. Llenar la orden es la parte más laboriosa del trabajo y la que más influye en la distribución. Para la distribución de una bodega son importantes dos criterios de diseño:

1. Localizaciones fijas.
2. Cantidades pequeñas de todo.

Nunca una distribución será para un único producto. Por ejemplo, una compañía que manufactura estuches de tuercas elaboró dos tipos básicos denominados “Big T” y “A Frame”. Se vendieron 50 estuches de cada grupo.

El primer criterio de diseño de bodegas (localizaciones fijas) significa que a cada producto debe asignarse una ubicación fija de modo que la persona encargada de la bodega encuentre el producto con rapidez. La manera más simple de hacer esto es ordenar los productos por número de parte, pero no es la más eficiente. Para incrementar la productividad, los artículos más solicitados deben estar en la ubicación más conveniente. El segundo criterio de diseño es resultado directo del primero. Al guardar sólo cantidades pequeñas de todo en la ubicación fija, quien busca la orden pedida recorre todos los productos con unos cuantos pasos. Si en el almacén se guardara una sola plataforma de cada herramienta, para localizar una orden se requeriría recorrer 4 pies por 8,000 artículos, un viaje de 32,000 pies. Eso representa 6 millas. Hay que ser más inteligente y colocar las herramientas en entrepaños de 3 pies de ancho y 7 de alto. Ahora se tendrían que recorrer sólo 1,000 anaqueles, que con 3 pies de ancho representan 3,000 pies. Si los anaqueles se colocaran en forma transversal al pasillo sólo sería necesario hacer un recorrido de 1,500 pies.

Para reducir aún más la distancia recorrida con objeto de surtir una orden, el análisis del inventario identificará los artículos más populares y rentables para que se sitúen en los lugares más convenientes. Este análisis se llama *análisis ABC de inventarios.*

En la figura 8-18 se muestra una bodega sencilla. La ilustración superior es una distribución estándar en la que la parte promedio se encuentra en medio de la bodega. Esto requeriría un movimiento de 60 pies a partir de la mitad de la bodega para encontrar el producto por enviar (un viaje redondo de 120 pies). El análisis ABC (parte inferior de la figura 8-18) colocaría el inventario más importante (los artículos tipo A) próximos a los envíos (a 20 pies de distancia), y las partes menos importantes estarían en el fondo de la

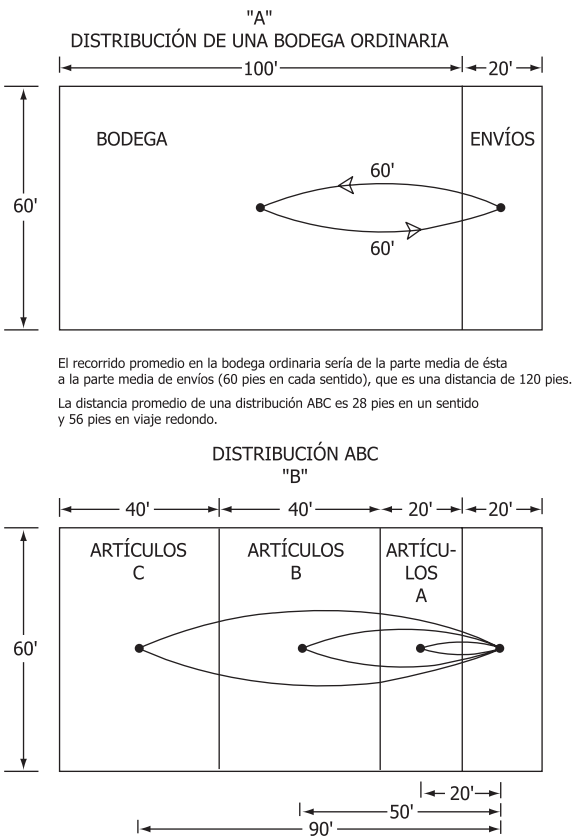


Figura 8-18 Ahorros de costo con la distribución ABC.

bodega (a 90 pies). Ahora, la distancia promedio para tomar un producto es la de un recorrido redondo de 28 a 56 pies (con un ahorro de 50%). Esto se calculó como sigue:

- Los artículos tipo A constituyen el 80 por ciento de las ventas en dinero y sólo el 20 por ciento de los números de parte.
- Los artículos tipo B forman el 15 por ciento de las ventas monetarias y el 40 por ciento de los números de parte.
- Los artículos tipo C son el 5 por ciento del valor pecuniario, pero 40 por ciento de los números de parte.

Artículos tipo A = 20 pies @ 80% = 16.0 pies
Artículos tipo B = 50 pies @ 15% = 7.5 pies
Artículos tipo C = 90 pies @ 5% = 4.5 pies
Distancia total para el artículo promedio = 28.0 pies (viaje redondo de 56 pies)

Funciones de una bodega

Las tres funciones básicas de una bodega son las siguientes:

1. Salvaguardar el producto terminado.
2. Mantener cierto inventario de cada producto que vende la compañía.
3. Preparar el envío de las órdenes de los clientes.

La salvaguarda de los productos terminados debe considerar el hurto, así como el daño que ocasiona la manipulación del material y las instalaciones de almacenamiento. Contenedores, anaqueles, armazones, rejas, puertas, mostradores de control y sistemas para controlar el inventario forman parte de este requerimiento de seguridad y responsabilidad de la bodega.

Surtir las órdenes de acuerdo con lo que solicitan los clientes, eficiencia, es una función de la bodega que afecta al máximo la distribución de ésta. Ejemplo del trabajo en una bodega es el de una compañía que edita libros. La bodega podría albergar 4,000 títulos diferentes. Cada uno de ellos se denomina *unidad de inventario existente* (SKU, por las siglas de stock keeping unit), por lo que en ella habría 4,000 SKU. La gran pregunta es, ¿cómo se acomodan estas 4,000 SKU a fin de surtir de manera eficiente las órdenes de los clientes? Una solución tonta sería colocar los libros en plataformas y acomodar éstas una junto a otra. Cuatro mil plataformas de 4 pies por 4 alineadas, arrojarían una longitud de 16,000 pies, aun si se usaran ambos lados del pasillo. Se necesitaría un pasillo de 8,000 pies. Quienes surtan las órdenes tendrían que caminar 8,000 pies para ir y 8,000 pies al regresar, con objeto de revisar cada título. Caminar más de 3 millas por cada orden no es un buen uso de las personas, por lo que el primer criterio de diseño de la distribución de la bodega es *tener una cantidad pequeña de todo en un pequeño lugar fijo*. Una *cantidad pequeña* se define como el suministro de uno a cinco días. Este inventario se colocaría en estantes, o mejor aún, en armazones de flujo (vea la figura 8-19).

Un armazón de flujo de 6 pies de ancho y 6 de alto contendría 36 SKU distintas (títulos) en un área de 6 pies, de modo que en 112 armazones se guardarían 4,000 SKU .

$$\frac{4{,}000 \text{ SKU}}{36 \text{ SKU por armazón}} = 111.11 \text{ o } 112 \text{ armazones}$$

$$112 \text{ armazones} \times 6 \text{ pies por armazón} = 672 \text{ pies de armazón}$$

La figura 8-19 muestra una distribución que reduce por mucho los 16,000 pies de recorrido que se necesitaban antes, a sólo 678 pies de viaje por orden. Esto aún es demasiado, pero es una mejora.

La siguiente mejoría en el análisis ABC, se denomina la *regla del 80/20*, o *análisis de Pareto*. Tienen el mismo significado básico. La regla del 80/20 dice que el 80 por ciento de las ventas (medidas en dinero) proviene del 20 por ciento de los productos (por ejemplo, títulos de libros). Para maximizar la eficiencia hay que identificar los productos que generan el mayor número de ventas.

Esta regla del 80/20 divide el inventario en tres categorías:

Clase	*Porcentaje de $*	*Porcentaje de partes*
A	80	20
B	15	40
C	5	40

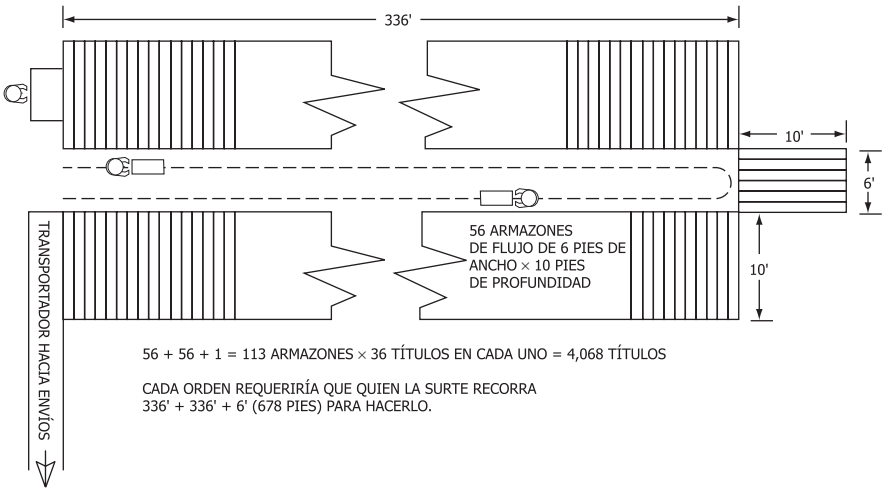


Figura 8-19 Armazones de flujo —distribución para el editor de libros.

La categoría A del inventario es exactamente como el 80/20 del que se habló, pero el 80 por ciento de los productos menos populares aún deben dividirse en artículos tipo B y C.

Ahora, la distancia de recorrido para surtir la orden promedio es la siguiente:

$$\begin{aligned}
\text{Artículos tipo A} &= 80\% \times 138 \text{ pies} = 110.4 \text{ pies} \\
\text{Artículos tipo B} &= 15\% \times 100 \text{ pies} = 15.0 \text{ pies} \\
\text{Artículos tipo C} &= 5\% \times 270 \text{ pies} = 13.5 \text{ pies} \\
\text{Distancia total de viaje} &= 138.9 \text{ pies}
\end{aligned}$$

Al comparar los métodos se observa que se ha reducido el recorrido de 16,000 pies si se usan sólo plataformas, a 678 pies si se usan sólo armazones de flujo, y a 138.9 pies por medio del análisis ABC con armazones de flujo y plataformas. Trabaje con más inteligencia, no con más fuerza.

Procedimiento para análisis de venta con inventarios ABC

Para realizar análisis de las ventas mediante el inventario ABC, hay que hacer lo siguiente:

1. Enlistar todos los productos con su precio unitario y demanda promedio mensual (ventas).
2. Multiplicar el precio por la demanda promedio mensual.
3. Hacer la lista de los productos en orden decreciente, según el dinero que generan las ventas mensuales.
4. Sumar todas las ventas mensuales (total de ventas).
5. Mantener una columna con el acumulado después del total de ventas mensuales, y sumar a cada renglón el total anterior.

Núm. de parte	*$ por unidad*	*Ventas mensuales*	*$ en total*	*$ acumulado*	*Porcentaje del total*
1650	34.50	2,000	69,000	69,000	28
1725	49.90	1,000	49,900	118,900	49
1400	45.00	1,000	45,000	163,900	67
0390	20.50	2,000	41,000	204,900	84
1450	39.00	1,000	39,000	243,900	100
			243,900		

6. La columna de porcentaje del total es el dinero acumulado dividido entre el dinero total. En un ejemplo real se vería que sólo el 20 por ciento de los números de parte genera el 80 por ciento (columna de porcentaje acumulado) del dinero de las ventas.

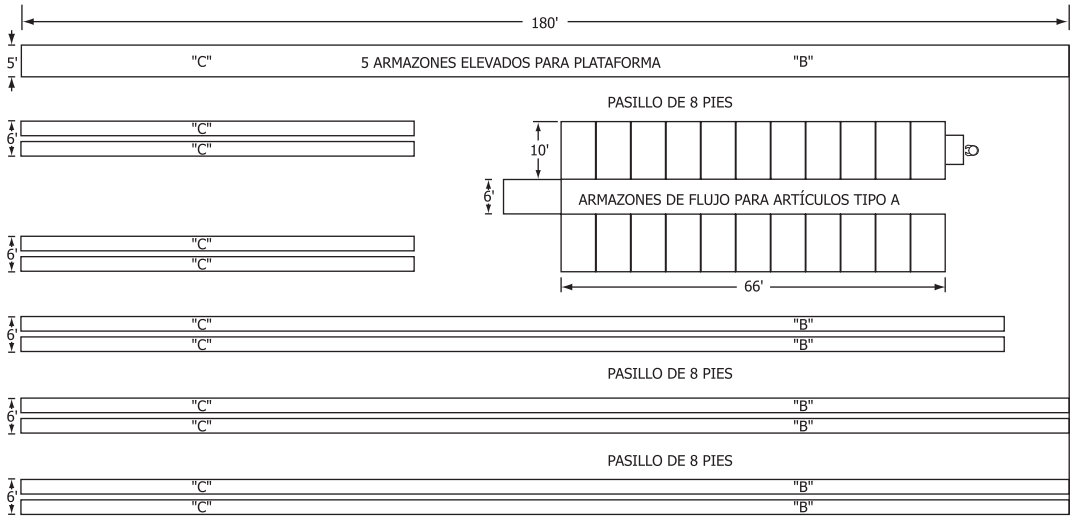
Núm. de títulos de libros	*$ en total*	*Porcentaje de $*	*Porcentaje de títulos de libros*
800	8,000,000	80	20
3,200	2,000,000	20	80

Para hacer la distribución se colocaría estos 800 libros cerca del departamento de envíos (vea la figura 8-20).

Situar el producto por orden de número de parte es la forma más fácil de hacer la distribución de una bodega, por tanto, cuando a ésta llega la orden de un cliente en la que está impreso el número de parte, el encargado va al primer número de parte, luego al segundo, y así sucesivamente. Los productos se encuentran con facilidad porque están ordenados por número de parte. El problema con esta organización de la bodega es que las partes que circulan con lentitud están junto a las que lo hacen con rapidez. Para corregir esto, se numera cada ubicación de la bodega y asigna un número de producto a cada ubicación. En este sistema, los artículos más populares se colocan en las localidades más convenientes. Conforme se hace el análisis ABC, los artículos tipo A reciben ubicaciones adecuadas, mientras que los de tipo C se colocan en la parte posterior de la bodega porque sólo se buscan el 5 por ciento de las veces; el área de los artículos tipo C constituye el 40 por ciento de la bodega. Cuando llega a la bodega la orden de un cliente, el producto se recoge en orden de localización por frecuencia: el encargado va a la localidad número 0529 y toma seis partes con número 1650-1900, después va a la ubicación 0533 y recoge 12 partes cuyo número es el 1700-1550, etcétera.

Distribución de un inventario ABC de una compañía manufacturera de herramientas de mano

Esta compañía proporciona a sus consumidores 8,000 herramientas distintas. La compañía comercializa tres marcas diferentes. La única diferencia en ciertas herramientas está en su nombre. La distribución anterior se dividía en tres áreas (una para cada marca), y dentro de cada área las herramientas se almacenaban en anaqueles de 3 pies de ancho, $1\frac{1}{2}$ pies de profundidad, y 1 pie de alto. Los estantes eran de 6 pies de altura y las herramientas se colocaban en ellos por orden del número de parte. La herramienta cuyo número de parte era



ARTÍCULOS TIPO A = 800 LIBROS EN ARMAZONES DE FLUJO (36 LIBROS POR ARMAZÓN × 23 ARMAZONES)
ARTÍCULOS TIPO B = 1,600 LIBROS EN ARMAZONES PARA PLATAFORMA CON ALTURA DE 5 = 640 PIES DE ARMAZONES
ARTÍCULOS TIPO C = 1,600 LIBROS EN ARMAZONES PARA PLATAFORMA CON ALTURA DE 5 = 640 PIES DE ARMAZONES

Figura 8-20 Distribución ABC de una bodega de libros.

el 1, estaba en primer lugar en el estante, y muchos pasillos después la herramienta con número de parte 9,999 era la última en la bodega. La figura 8-21 muestra la distribución de una de las tres marcas de herramientas. El encargado tomaría la orden del cliente en el escritorio del supervisor de la bodega y caminaría 3,000 pies a través de toda la sección de anaqueles para surtirla. La figura 8-22 es la distribución mejorada según el inventario ABC para la misma sección (marca de las herramientas). En esta distribución, los artículos tipo C se localizaban en los pasillos principales, los de tipo B en los pasillos laterales, pero cerca de los A, y los de tipo C estaban atrás de los de tipo B. Las ubicaciones estaban numeradas y las órdenes de los clientes salían del departamento de procesamiento de datos con su número de orden de localización.

La distribución propuesta (vea la figura 8-22) requiere que el encargado camine sólo 5.4 pies en cada pasillo lateral. Cuarenta y dos pasillos por 5.4 pies es igual a 227 pies, más 330 pies del pasillo principal y otro tanto de regreso, lo que hace un total de 557 pies. Compare esto con los 3,000 pies de recorrido en la distribución presente.

Artículos tipo A = 80% de 3 pies de recorrido	= 2.4 pies
Artículos tipo B = 15% de 12 pies de recorrido	= 1.8 pies
Artículos tipo C = 5% de 24 pies de recorrido	= 1.2 pies
Distancia promedio total	= 5.4 pies

Dos encargados necesitarían recorrer sólo el 18.6 por ciento de la distancia que solían recorrer (menos de la quinta parte de la distancia anterior). Esto daría como resultado que se necesitaran menos encargados y también menos espacio. Un centro de distribución de

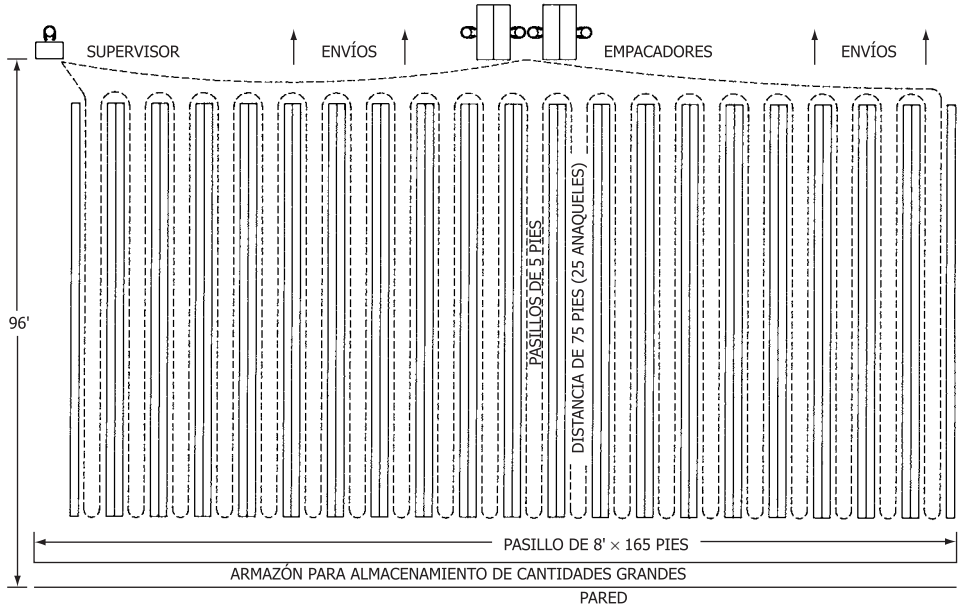


Figura 8-21 Bodega de una compañía de herramientas de mano. Distribución actual [en orden según el número de parte: 8,000 artículos colocados en 1,000 armazones de $3 \times 1.6 \times 7$ pies; se necesitan 3,000 pies de pasillo o 40 (75 pies) filas de armazones].

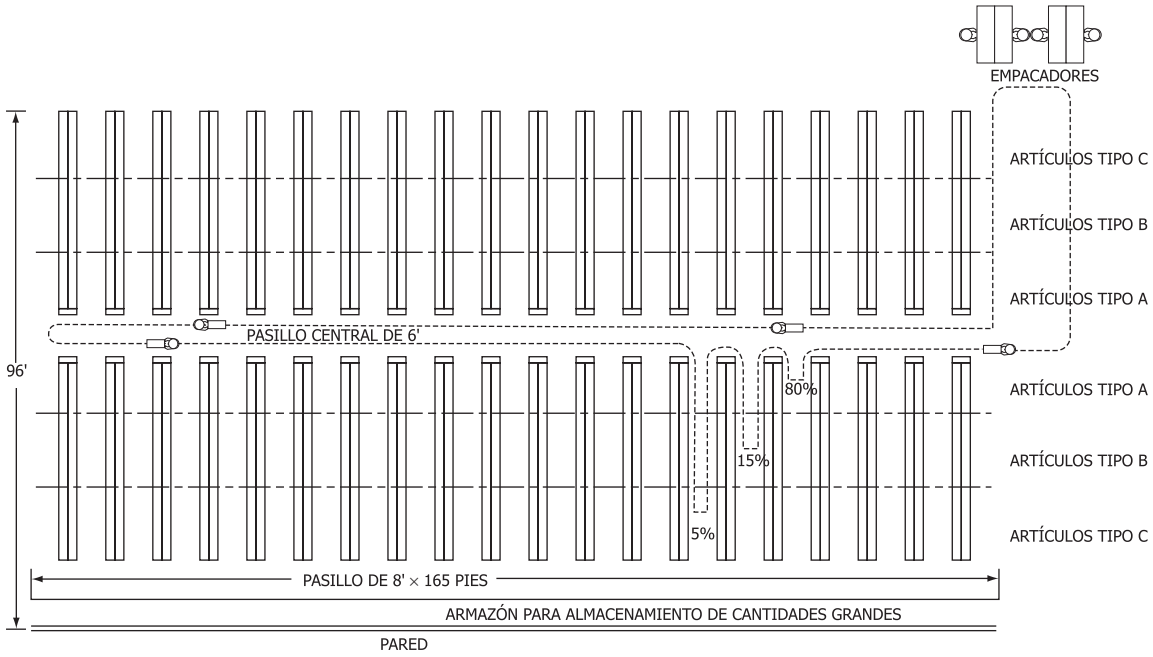


Figura 8-22 Bodega de una compañía de herramientas de mano. Distribución (propuesta) ABC (es la misma que la de la figura 8-21, con dos secciones de armazones eliminadas con el fin de crear un pasillo nuevo y colocar todos los artículos tipo A en los primeros 3 pies de los pasillos).

clase mundial significa que puede competirse con las mejores bodegas del mundo. Debe trabajarse con más inteligencia así como con más intensidad para ser el mejor.

Una pequeña cantidad de todo es el criterio principal para hacer la distribución de una bodega. "Cantidad pequeña" significa un suministro de un día a una semana, pero nunca todo lo que se tenga de ese número de parte. Si no se deja lugar para todo en la bodega, ¿a dónde va el inventario excedente? Imagine que tuviera el suministro de 30 días de un número de parte y la bodega estuviera diseñada para guardar el suministro de solo un día. Este inventario excedente se denomina *inventario a granel* o *inventario de respaldo* y se guardaría en el almacén de materias primas. Recuerde que los almacenes usan ubicaciones al azar, por lo que se coloca en cualquier sitio. Secciones especiales de la bodega pueden ser habilitadas como áreas para el inventario a granel o inventario de respaldo. Estas áreas se dejarían fuera y se controlarían como almacenes.

Conservar los anaqueles llenos es trabajo y responsabilidad de un grupo de apoyo de la bodega distinto de los encargados de ésta. Dichos empleados mueven el material de las áreas para el granel a aquéllas donde se recogen. A veces estos bodegueros toman órdenes muy grandes directo de las superficies para almacenar a granel, con objeto de evitar que se agote lo que está en los anaqueles.

La operación de las bodegas se juzga por el nivel de servicio y las libras enviadas por hora de mano de obra. Todo lo que se haga para mejorar dichas cifras será en bien de la compañía.

Determinación del espacio de bodega

La multiplicación del tamaño del producto terminado o empacado, por la cantidad que se manufactura cada día y por el número de días de suministro, es igual a los pies cúbicos del espacio que se requiere para la bodega.

Ejemplo: Proporcione una bodega para guardar 30 días de suministro de cajas de herramientas, a razón de 2,000 unidades por día.

$$\frac{18 \times 8 \times 8 \text{ pulgadas}}{1{,}728 \text{ pulgadas por pie cúbico}} = .666 \text{ pies cúbicos cada } 2{,}000 \times 30 \text{ días}$$

$$40{,}000 \text{ pies cúbicos} + \text{plataformas}$$

Vea la distribución que aparece en la figura 8-23 para un patrón de plataformas y una de éstas que es común.

$$\frac{42 \times 42 \times 54 \text{ pulgadas}}{1{,}728 \text{ pulgadas por pie cúbico}} = 55.125 \text{ pies cúbicos por plataforma}$$

$$72 \text{ cajas de herramientas por plataforma}$$

$$2{,}000 \text{ por día} \times 30 \text{ días} = 60{,}000 \text{ cajas de herramientas}$$

$$\frac{60{,}000}{72} = 833 \text{ plataformas}$$

La figura 8-24 ilustra una distribución para la bodega de la planta de cajas de herramientas. Observe que las plataformas miden 42 pulgadas por 48 (ancho estándar) y que las ocho plataformas sólo miden 28 pies. Las plataformas están apiladas una junto a otra (sin espacio entre ellas) debido a que las cajas son del mismo tamaño y se acomodan con estabilidad. Ésta es una distribución muy sencilla para un solo producto. Otras distribuciones

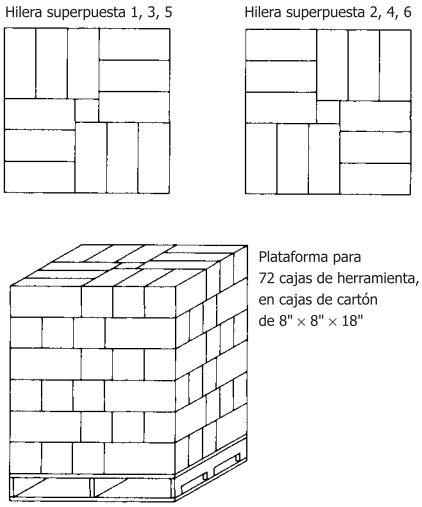


Figura 8-23 Patrón de plataformas —cajas de herramientas (12 por hilera, 72 por plataforma).

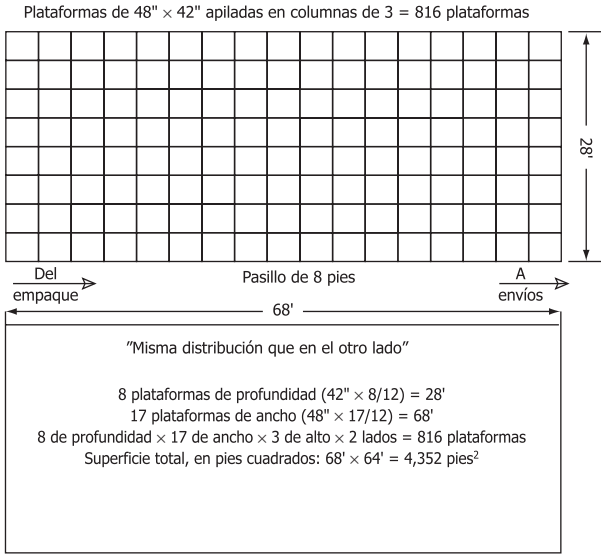


Figura 8-24 Distribución de bodega —planta de cajas de herramientas.

más complicadas siguen el mismo procedimiento. Si se calcula el espacio volumétrico que se requiere para cada producto y el total de ellos, se tendrá el espacio de almacenamiento total. Duplicar este espacio permitirá contar con pasillos, y el 50 por ciento de pasillos es más normal que el ejemplo. Si se tiene sólo un producto se almacena a profundidad (ocho plataformas a partir del pasillo). Es normal que sólo se almacene una profundidad de una o dos plataformas, lo que requiere mucho más espacio de pasillos.

Equipo para bodegas

Los anaqueles que se parecen a los de las bibliotecas son los más comunes para las áreas donde se recogen las partes (vea la figura 8-11). Mientras que todos los anaqueles generalmente tienen las mismas dimensiones estándar, las alturas se ajustan para permitir distintos tamaños y cantidades de almacenamiento. Para tener más espacio deben usarse más anaqueles. A veces se guardan tres o cuatro partes diferentes en un anaquel. Las bodegas de herramientas utilizan anaqueles de uso rudo, que miden 3 pies de ancho, $1\frac{1}{2}$ pies de profundidad y 1 pie de alto, con altura promedio de siete entrepaños. Cada anaquel contiene $4\frac{1}{2}$ pies cúbicos de partes. En ellos se guarda un suministro para una semana. El inventario excedente se coloca en el almacén.

Un *mezzanine*, cierto tipo de galería, se construye sobre un área de anaqueles para recibir más de éstos. El inventario de poca circulación se guarda en la parte alta para hacer buen uso del espacio que, de otro modo, se usaría en forma deficiente.

Es frecuente que se usen *carros de mano de dos ruedas* para guardar los artículos en los anaqueles. Las cajas de material se traen al departamento de bodega con *montacargas*, pero los pasillos no tienen la anchura suficiente para que éstos pasen, por lo que se utilizan carros de mano. Las cajas de cartón se ponen en los anaqueles. Las cajas pesadas (más de 25 libras) se sacan y colocan en los anaqueles a mano.

Los *carros de recolección* son de cuatro ruedas que se empujan entre los anaqueles para surtir las órdenes de los consumidores. Los carros se descargan conforme el encargado llena las cajas que se enviarán a los clientes.

Los *armazones* se emplean para productos más grandes. El espacio entre ellos es grande o pequeño, según se necesite, pero lo común es que sea de 2 o 3 pies. Dos o tres niveles de alto es lo que se apila debido a las restricciones de altura de los empaques. Las cajas de herramienta se almacenan en armazones en la bodega de la compañía de herramientas.

Los armazones de flujo permiten que se guarden muchas partes en un lugar pequeño. En una bodega de medicinas se guardaban 2,000 de los medicamentos más populares en un pasillo de 50 pies. El 80 por ciento de las ventas en dinero se enviaba desde esta parte muy pequeña de la bodega de medicinas (vea las figuras 8-25a y 8-25b).

Conclusión

Las bodegas son un área en la que un poco de planeación y creatividad ahorran mucho espacio y mejoran la eficiencia. Los principales criterios de diseño son los siguientes:

1. Dejar una pequeña ubicación fija para todo.
2. Dividir el inventario en clasificaciones ABC.
3. En el ejemplo siguiente de bodega ABC, ubique los artículos más cercanos a envíos en la localización más conveniente.

Clase	*Porcentaje de $*	*Porcentaje de parte*	*Días de suministro en la bodega*
A	80	20	2
B	15	40	5
C	5	40	10

Figura 8-25a Armazón de flujo (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

4. Calcule el espacio de almacenamiento que se requiere para cada artículo en el almacén y multiplique los pies cúbicos unitarios por el número de días de suministro. Ejemplos:

   1.5 pies cúbicos serían un tercio de anaquel.
   6.0 pies cúbicos serían un anaquel más un tercio.
5. Calcule el número total de anaqueles.
6. Determine el tamaño de los pasillos.
   a. Pasillos de un sentido deben ser de 3 a 4 pies, en función del tamaño del material.
   b. Pasillos de dos sentidos deben ser un pie más anchos que dos elementos de equipo para manejo de materiales. Un carro de 18 pulgadas requeriría un pasillo de cuatro pies.
7. Haga la distribución de los anaqueles y pasillos y determine la anchura y la longitud de la bodega.
8. Maximice el espacio volumétrico de la bodega. Los *mezzanines* y armazones hacen un mejor uso de los espacios elevados.

CUARTO DE MANTENIMIENTO Y HERRAMIENTAS

La función del cuarto de mantenimiento y herramientas es proporcionar y mantener las herramientas para la producción. Estas funciones varían mucho de una compañía a otra. Los cuartos de herramientas no existen en ciertas plantas porque todas se compran a fuentes externas. Cierta clase de mantenimiento también se contrata con proveedores del exterior. Por ejemplo, el mantenimiento del equipo de oficina, por lo general, es realizado por una firma externa.

Figura 8-25b Armazones de flujo en el área de búsqueda (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

El tamaño del cuarto de mantenimiento y herramientas depende de si la administración quiere hacerlo en la empresa o prefiere contratar en el exterior una parte o todos estos trabajos. Un cuarto de herramientas está formado por máquinas y un área de ensamble similar a la de producción. Una vez que la administración determina qué hará la planta, se elabora una lista de maquinaria y cada máquina necesita un diseño de estación de manufactura. El tamaño del cuarto de herramientas es la suma total de todos los requerimientos de espacio por el 200 por ciento. El espacio adicional es para todo, excepto las áreas para almacenar materias primas y herramientas terminadas. Estas áreas se calculan como cualquier otra área de almacenamiento.

El *mantenimiento* es un servicio para el equipo de la compañía. Se usa un carro móvil de servicio para dar mantenimiento al equipo, pero es más común que se diseñe un área central para ello, con objeto de incluir equipos, áreas elevadas de maquinaria, suministros de mantenimiento y áreas para almacenar partes de repuesto. Es usual que el mantenimiento requiera del 2 al 4 por ciento del personal de la planta. Como ejemplo extremo, el mante-

nimiento tenía al 33 por ciento de los empleados de un molino de papel. Si se conoce el tamaño de la planta (número de empleados), y de la experiencia corporativa (o promedios de la industria) se sabe que la compañía debiera tener 3 personas de mantenimiento por cada 100 de producción, se proporcionaría 400 pies cuadrados de espacio a cada uno. Esto bastaría para todo, excepto los almacenes de mantenimiento, que se calculan como cualquier otro almacén.

La planta de cajas de herramienta usó .13702 horas por unidad a razón del 100 por ciento. La historia indica que es más realista suponer un rendimiento de 85 por ciento, por tanto se tiene:

$$\frac{.13702}{.85} = .16120 \text{ horas cada uno}$$

$$.16120 \times 2{,}000 \text{ cajas por día} = 322.4 \text{ horas de personas de producción}$$

Cada persona trabaja 8 horas por día, por lo que se necesitan 41 trabajadores. El tres por ciento de 41 es igual a 1.2 empleados de mantenimiento, que son los que se requieren. Por tanto, se dará espacio para dos trabajadores de mantenimiento.

$$2 \times 400 \text{ pies cuadrados} = 800 \text{ pies cuadrados}$$

En la mayoría de distribuciones de planta hay que sumar un almacén controlado de 10 pies por 10, y suministros. Esta área de almacenamiento de 100 pies cuadrados es apenas el tamaño mínimo para controlar los suministros. La planta comprará sus herramientas, por lo que no se necesita cuarto para ellas. La superficie total para el mantenimiento será de 900 pies cuadrados.

INSTALACIONES, CALEFACCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Cuando se determine el espacio debe considerarse la calefacción, el acondicionamiento de aire, los tableros eléctricos, los compresores de aire y otros equipos parecidos. Estas áreas también deben mantenerse separadas del tráfico normal, los tableros eléctricos deben estar protegidos, los calentadores han de estar limpios y los compresores de aire requieren una construcción especial porque son ruidosos. Una vez identificadas estas instalaciones, se determina su tamaño y se colocan en un área apropiada de la planta. Muchas veces se colocan fuera del camino (en la azotea o en las trabes) de modo que no interfieran con el flujo de los materiales. Pero hay que recordar, en un sitio u ocultas a la vista, las instalaciones no deben pasarse por alto al determinar el espacio de la planta.

PREGUNTAS

1. ¿Qué son servicios auxiliares (servicios de apoyo)?
2. ¿Qué tienen en común los envíos y la recepción?
3. ¿Cuáles son las ventajas de un departamento común para recepción y envíos?
4. ¿Cuáles las desventajas?

5. ¿Debe una compañía tener sólo un área de recepción?
6. ¿Qué efecto tiene la industria del transporte en las plataformas de recepción y envíos?
7. ¿Qué es ICC?
8. ¿Por qué usaría usted transportes comunes?
9. ¿Cuáles son las funciones de un departamento de recepción?
10. ¿Qué es el registro de Bates?
11. ¿Cómo es una fecha del calendario juliano?
12. ¿Qué es un reporte EFyD?
13. ¿Qué es un reporte de recepción?
14. ¿Cuántas puertas de plataformas deben tenerse?
15. ¿Qué significa tasa de arribos?
16. ¿Qué áreas exteriores se necesitan para los departamentos de recepción y envío?
17. ¿Qué es el método de visualización para determinar los requerimientos de espacio del departamento de recepción?
18. ¿Cuáles son las funciones de un departamento de envíos?
19. ¿Por qué se pesan los contenedores que se envían?
20. ¿Qué es una cuenta exhaustiva?
21. ¿Qué es un almacén?
22. ¿Cuáles son los diferentes tipos de almacén?
23. ¿Qué es lo que determina el tamaño del almacén?
24. ¿Qué es una clasificación ABC?
25. ¿Qué es el costo de llevar inventario?
26. ¿Qué es JIT?
27. ¿Cuáles son los objetivos de un departamento de almacenes?
28. Revise la figura 8-8 (curva de inventario) e identifique lo siguiente:
    a. cantidad de reorden.
    b. tasas de uso (normal, máxima y mínima).
    c. inventario de seguridad.
    d. punto de reorden.
    e. tiempo de reorden.
29. ¿Cómo es posible dejar lugar sólo para el 50 por ciento del inventario?
30. ¿Cómo funciona la ubicación aleatoria?
31. ¿Qué es un pie de pasillo?
32. Haga la distribución de un almacén con 18 áreas de almacenamiento a granel (4 pies en el pasillo por 12 de profundidad) más 800 pies de pasillo de armazones para plataformas de 4 pies por 4, más 400 pies de anaqueles (con anchura de 1 pie por 7 por 3). Use pasillos de 8 pies para que circulen montacargas y de 4 pies para los anaqueles. Calcule las superficies en pies cuadrados.
33. ¿Qué es una bodega?
34. ¿Cuáles son los dos criterios de diseño para una bodega?
35. ¿Cuáles son las dos funciones de una bodega?

36. ¿Qué es surtir una orden?

37. ¿Cómo ayuda el análisis de inventario ABC a distribuir una bodega?

38. ¿Qué es un patrón de plataformas?

39. ¿Qué es un *mezzanine*?

40. ¿Cuántos trabajadores de mantenimiento debe tener una planta?

41. Explique cómo ayuda un sistema de identificación y captura de datos automático (ICDA) a resolver los problemas de recepción, almacenamiento y control de inventarios.

42. Explique cómo funciona el análisis de Pareto y cómo se aplica a la organización de una bodega.

43. Explique el concepto de ubicación aleatoria para varios artículos en el almacén. ¿Cómo ayuda en la utilización del espacio?

44. ¿Qué es un archivo localizador de artículos y cuál es su propósito?

45. ¿Qué necesita el uso de inventario de seguridad?

46. Dados los artículos siguientes de inventario, a) calcule el número de plataformas que se requiere para cada uno, y b) determine la longitud total de pasillos que se requiere para el nivel promedio de inventario. La capacidad de una plataforma es de $4 \times 4 \times 4$ pies. Los armazones tienen un ancho de 14 pies y cada uno recibe tres plataformas lado a lado y cuatro apiladas en columna.

*Longitud**	*Ancho**	*Alto**	*Cantidad máxima*
25	24	4	5,000
12	10	3	7,000
36	12	8	9,000
24	8	8	8,000

*En pulgadas.

CAPÍTULO

9

Servicios para empleados: requerimientos de espacio

Los empleados tienen necesidades y los servicios para ellos responden a las distintas necesidades. En este capítulo se estudiará lo siguiente:

1. Estacionamientos.
2. Entrada para empleados.
3. Cuartos de casilleros (*lockers*).
4. Excusados y sanitarios.
5. Cafeterías o comedores.
6. Instalaciones recreativas.
7. Bebederos.
8. Pasillos.
9. Instalaciones médicas.
10. Áreas de descanso y espera.
11. Servicios varios para empleados.

Estos servicios requieren realmente un espacio importante. Sus ubicaciones afectarán la eficiencia y la productividad de los empleados y la calidad de dichos servicios influirá en la calidad de vida laboral y en la relación de los trabajadores con la administración de la compañía. Se dice que para "ver" la actitud de la dirección hacia sus empleados hay que mirar los sanitarios. Si están descuidados o hay descomposturas, existe una actitud deficiente. Sanitarios pulcros y limpios indican una actitud positiva.

ESTACIONAMIENTOS

La interfaz entre el mundo exterior y la planta son los caminos de acceso y los estacionamientos. El objetivo es proporcionar espacio adecuado con ubicación conveniente. Tal vez se necesiten tres estacionamientos. Clasificados por uso, como sigue:

1. Trabajadores de manufactura.
2. Empleados de oficina.
3. Visitantes.

La conveniencia y el uso eficiente del espacio son consideraciones muy importantes para determinar el diseño del estacionamiento. Las entradas a la planta decidirán la localización de los estacionamientos. El objetivo debe ser situar el estacionamiento tan cerca de la entrada como sea posible, pero hay que recordar que no todos se estacionan en el mismo espacio. Una distancia de 1,000 pies requiere de 4 minutos, en promedio, para recorrerse a pie. Este recorrido debe ser el más largo que caminen tanto los empleados como los visitantes. Las plantas grandes tal vez tengan problemas con este requerimiento debido a las restricciones de espacio, pero debe permanecer como objetivo.

El tamaño del estacionamiento es directamente proporcional al número de empleados. Si la compañía se localizara en el campo y los empleados manejaran para ir a trabajar, habría que prever un lugar de estacionamiento por cada empleado y medio. Si estuviera cerca de la ciudad y el terreno fuera caro, se daría un espacio de estacionamiento por cada dos empleados. Debe considerarse la ubicación de la planta, el número de empleados y la actitud de la administración hacia los viajes colectivos y similares, para después decidir acerca de la razón espacio de estacionamiento-empleado. Junto con la localización de la planta, también debe darse consideración especial a la disponibilidad de transporte público y las instalaciones de estacionamiento municipal cerca de la planta.

Núm. de empleados		*Espacio de estacionamiento*	*Espacios por cada 100 empleados*
1.25	a	1	80
1.5	a	1	67
1.75	a	1	57
2.0	a	1	50

El estacionamiento para oficinas es diferente del de la fábrica porque los espacios para visitantes se incorporan a dicha área. Es apropiada la razón 1:1, y los lugares más cercanos serán para los visitantes.

El estacionamiento asignado generalmente es mala idea, en especial, si los empleados que llegan temprano tienen que estacionarse lejos de la entrada que usan y pasan frente a los lugares que los "peces gordos" usan para estacionar sus autos. El estacionamiento asignado da un aire de superioridad y lleva a malas relaciones y moral baja. La mejor asignación es: el primero que llegue es el primero en usar el mejor sitio. Otra forma de mejorar el estacionamiento y las relaciones laborales es tener más de una entrada (p. ej., para la fábrica y para las oficinas). De esta forma, la gente de oficina que llega tarde tiene la oportunidad de alcanzar un buen lugar. Las únicas dos razones para asignar lugares de estacionamiento son para los vehículos de la empresa y los colectivos. El que se use para realizar encargos debe localizarse convenientemente cercano a la entrada, con el fin de estimular la productividad. El transporte colectivo aumenta la eficiencia en costos.

En ocasiones el planeador de las instalaciones debe incorporar los requerimientos del Acta de los Estadounidenses con Discapacidad (AAD) de 1989 en todos los aspectos de la planeación y el diseño. Al respecto, la primera preocupación del planeador debe ser proporcionar espacios especiales y apropiados para estacionamiento, así como crear un

ambiente libre de barreras en todos los aspectos de la instalación. El cumplimiento de los requerimientos de la AAD es por ley. Hay que consultar los lineamientos de la AAD y el planeador debe entender el espíritu de la ley y el concepto libre de barreras cuando diseñe las instalaciones de estacionamiento, entradas, sanitarios, oficinas, y la mayor parte de áreas de servicio para el personal. Otros ordenamientos y leyes locales para asignar el diseño de las distintas zonas también tienen influencia en la ubicación y la planeación de los estacionamientos.

Una vez que se determinó el número de estacionamientos y los lugares que tendrá cada uno, hay un número casi ilimitado de diseños. El factor que decide es el tamaño y forma del espacio disponible, pero ayudan las siguientes estadísticas:

Cajones de estacionamiento	*Ancho**	*Longitud**
Carros chicos	8	15.0
Carros medianos	9	17.5
Carros grandes	10	20.0

*En pies.

Ancho de carriles
Un carril —11 pies
Dos carriles —22 pies

1. Conforme se incrementa el ángulo A de los espacios de estacionamiento, el ancho del pasillo que se requiere también aumenta (vea la figura 9-2). Por ejemplo, si A = 45º, se necesita un pasillo más estrecho. Sin embargo, conforme A se aproxima a 90º se necesita un pasillo más amplio.
2. Conforme aumenta la anchura de los espacios de estacionamiento, el ancho del pasillo requerido disminuye.
3. Entre más anchos son los espacios de estacionamiento (hasta 10 pies), menos daños sufrirán las puertas de los autos..
4. Con frecuencia, los reglamentos de construcción locales establecen el tamaño del estacionamiento.
5. La reglamentación local sobre construcciones suele dictar el número y la localización de los espacios para los minusválidos.
6. Como regla práctica general, un estacionamiento tendrá una superficie igual al resultado de multiplicar 250 pies cuadrados por el número de lugares de estacionamiento necesarios (vea las figuras 9-1 y 9-2).

ENTRADA PARA EMPLEADOS

El sitio por el que los empleados tienen acceso a la planta tendrá un efecto en la ubicación del estacionamiento, cuarto de casilleros, tarjetas de entrada, sanitarios y cafetería. El flujo de personas hacia la planta va de sus carros a ésta a través de la puerta para empleados, luego a su casillero y a la cafetería, a esperar el inicio de sus turnos.

En la entrada para empleados se localizan la seguridad, las tarjetas de asistencia, los tableros de anuncios, y a veces el departamento de personal. En función de la actitud de la

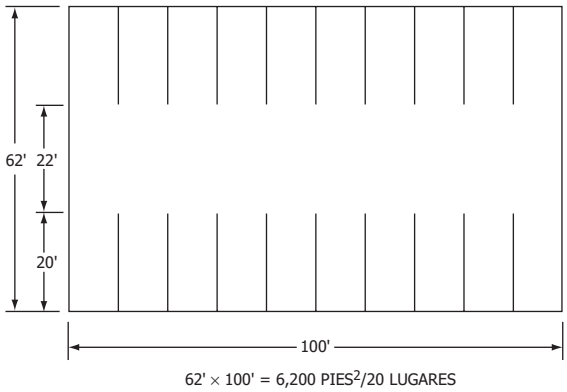


Figura 9-1 Estacionamiento perpendicular (se consume la mayor parte del espacio).

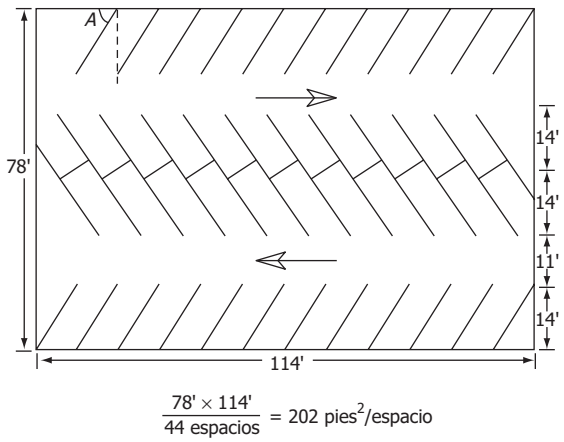


Figura 9-2 Estacionamiento angular.

administración y los requerimientos corporativos, la entrada para empleados varía de una simple puerta con las tarjetas y el reloj, a una serie de oficinas y puertas por las que se pasa.

El tamaño del acceso para los trabajadores debe considerar los requerimientos individuales. ¿Cuántas personas usarán esta puerta en un momento dado? La puerta medirá entre 3 y 6 pies, con un pasillo o camino que conduzca a la planta. Hay que prever el flujo del tráfico.

Las oficinas de personal y seguridad tendrán 200 pies cuadrados por oficina individual. Es normal que haya un empleado de personal por cada 100 trabajadores, y uno de seguridad por cada 300 empleados.

En el ejemplo de la planta de cajas de herramientas, la entrada para empleados consiste en una puerta de 4 pies y un pasillo de 6, como se aprecia en la distribución que aparece en la figura 9-3. El reloj y las tarjetas de asistencia están empotradas en la pared, y en el

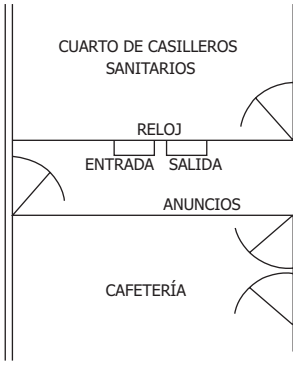


Figura 9-3 Entrada sencilla para empleados.

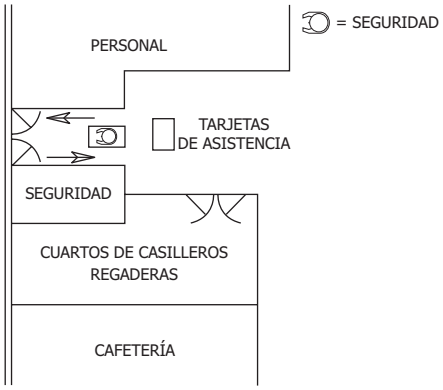


Figura 9-4 Entrada para empleados y seguridad.

otro lado del pasillo se encuentra el tablero de anuncios, también en la pared. La figura 9-4 muestra una entrada más grande para empleados de la planta, de 6 pies por 15, es decir 90 pies cuadrados, e incluso la seguridad.

CUARTOS DE CASILLEROS

Los cuartos de casilleros brindan a los empleados el espacio necesario para que cambien sus ropas de calle por las de trabajo y guarden sus efectos personales mientras laboran. En los armarios guardarán sus abrigos, almuerzos, zapatos de calle, etcétera. Los cuartos de casilleros se parecen mucho a los de los gimnasios. Regaderas, excusados, lavabos, armarios y bancos son parte de todo cuarto de casilleros bien equipado, pero en la siguiente sección se estudiarán los excusados y lavabos.

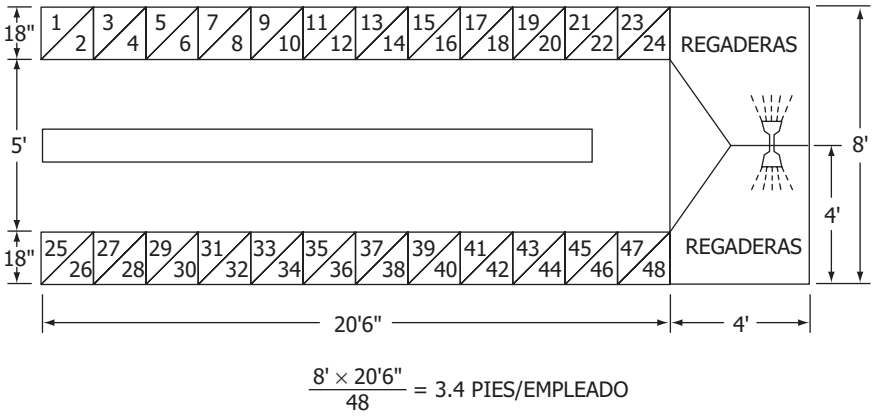


Figura 9-5 Cuarto de casilleros.

El tamaño de un cuarto de casilleros típico está en proporción directa al número de empleados. La figura 9-5 muestra un cuarto común de casilleros. La hilera superior es para el cambio de turno y la inferior para el nocturno. Los turnos que se escalonan reducen la congestión en el cuarto de casilleros. Por ejemplo, considere los horarios siguientes:

7:00–11:00	Almuerzo	11:30–3:30
7:30–11:30	Almuerzo	12:00–4:00
8:00–12:00	Almuerzo	12:30–4:30
3:30–7:30	Almuerzo	8:00–12:00
4:00–8:00	Almuerzo	8:30–12:30
4:30–8:30	Almuerzo	9:00–1:00

En una planta de 48 personas, sólo ocho de ellas estarían en el cuarto de casilleros al mismo tiempo. Si ésta fuera una fábrica de 96 trabajadores (48 hombres y 48 mujeres), se habilitarían dos cuartos idénticos.

El tamaño del cuarto de casillero se determina, en principio, con la multiplicación del número de empleados por 4 pies cuadrados por persona.

EXCUSADOS Y SANITARIOS

Las instalaciones para la higiene personal por lo general se denominan excusados. La primera pregunta es cuántos se necesitan por empleado. Como regla práctica, es necesario uno por cada 20 trabajadores, y no deben estar más lejos de 200 pies de cualquiera de las personas. Además, en cada excusado debe instalarse una bajada de aguas por sanitario. También deben tomarse previsiones para recibir a las personas con alguna incapacidad, según lo exige el AAD. Como mínimo debe haber un excusado para hombres y otro para mujeres en la oficina y en la fábrica.

El número de excusados que se necesitan depende de cuántos empleados trabajen en el turno principal. Es posible que el reglamento de construcciones local establezca el número necesario. La cantidad de lavabos es igual al número de excusados. En la figura 9-6, se aprecia un ejemplo parcial de las normas del reglamento para la construcción de cierta localidad.

El tamaño del excusado es de 15 pies cuadrados por excusado, lavabo y vestíbulo, y de 9 pies cuadrados por mingitorio.

Si la planta tuviera 50 empleados del sexo masculino y 50 del femenino, entonces, los dos excusados requerirían esto:

	50 hombres	*50 mujeres*
Excusados	2 @ 15 = 30	3 @ 15 = 45
Lavabos	3 @ 15 = 45	3 @ 15 = 45
Mingitorios	1 @ 9 = 9	
Área de reposo		1 @ 15 = 15
Puerta	1 @ 15 = 15	1 @ 15 = 15
Total	99	120
× 150 por ciento	149	180

En la figura 9-7 se ve el esquema del excusado para hombres correspondiente a estas necesidades.

CAFETERÍAS O COMEDORES

Una planta común tiene alguno de los cinco tipos siguientes de instalaciones para consumir alimentos:

1. Cafeterías con líneas de servicio.
2. Máquinas de venta.
3. Vendedores ambulantes.
4. Comedores (para ejecutivos).
5. Comedores externos (barras de almuerzos).

Una cafetería atiende a muchas personas en un tiempo breve. Este tipo de servicio lo utilizan las escuelas, instalaciones militares y familias que salen de día de campo. Las personas se forman en una fila y reciben su comida conforme recorren estaciones distintas. Por ejemplo, suponga que una fila de servicio atiende a nueve empleados por minuto (cada uno en cerca de siete segundos). Una fila tiene 30 pies de largo y 10 de ancho. Los empleados no estarían formados más de 10 minutos, por lo que se atendería a 90 personas cada 10 minutos. Si se escalonaran los horarios para almorzar de 540 personas, se atendería a 540 por hora. Las cafeterías, por lo general, se utilizan en plantas grandes.

Hay máquinas de venta que despachan comidas completas. Una que tuviera horno de microondas para procesar órdenes especiales tendría muchas opciones de alimentos. En general, las máquinas expendedoras se usan en los comedores de plantas pequeñas. Casi siempre se encuentran alineadas contra una pared. Debe haber espacio frente a ellas para que los consumidores se formen. Con estas máquinas se gana dinero. La mayor parte de las empresas dedican estas ganancias a los programas de prestaciones laborales, pero también

Sec. 31-37 Sanitarios en la manufactura, etc.:

"... Proporcionar un lugar adecuado para los sanitarios, para lo cual hay que garantizar privacidad razonable para ambos sexos... dentro de ellos siempre que sea ... practicable... accesorios apropiados... reparaciones oportunas... condiciones limpias y saludables, ventilación adecuada por medio de ventanas o conductos hacia el exterior... brindar medios convenientes de iluminación artificial... con señalamientos claros... que indiquen el sexo para el que ... se destinan... con... separaciones... sólidas construidas de piso a techo."

Sec. 177-4-5 Instalaciones sanitarias:

a. Excusados que se requieren y señalamiento del sexo:
   "Excusados separados... para cada género... marcados con claridad..."
b. Número:
   "Debe proveerse de cuartos de baño o excusados para cada sexo, a razón de un excusado para cada 20 personas o una fracción correspondiente, hasta 100 individuos, y para un número mayor, a razón de un excusado por cada 25."
c. Ubicación:
   "Dichos excusados y mingitorios deben tener fácil acceso para las personas a que se destinan. En ningún caso un excusado se localizará a más de 300 pies de distancia del sitio regular de trabajo de los individuos a que se destine..."

Sec. 177-6-6 Privacidad:

b. Instalaciones nuevas:
   1. "Cada compartimiento de excusado... debe ubicarse en el interior de un cuarto de sanitarios, o construirse con vestíbulo y puerta que impidan su vista desde el exterior."
   2. "La puerta de los sanitarios y excusados, si éstos no se encontraran dentro de un cuarto, debe contar con un dispositivo eficaz que la cierre en forma automática y la mantenga así."
   3. "... hombres y mujeres... en compartimientos adjuntos (que deben tener) separaciones de plástico o metal... que vayan de piso a techo."

Sec. 177-4-7 Construcción:

b. Instalaciones nuevas:
   1. "El piso... y las paredes laterales a una altura no menor de seis pulgadas... deben ser de mármol, cemento Pórtland, azulejo, ladrillo refractario u otro material a prueba de agua."

Sec. 177-4-12 Mingitorios:

a. "En los establecimientos o departamentos con 10 o más empleados, se instalará un mingitorio por cada 40 trabajadores del sexo masculino, o la fracción correspondiente hasta 200, y de ahí en adelante se dispondrá de un mingitorio adicional por cada 60 hombres o la fracción que corresponda para más. Dos pies de mingitorio común aprobado equivalen a un mingitorio individual... Los mingitorios sustituyen hasta 50% de las necesidades de excusados de los hombres."

Sec. 177-4-4 Instalaciones de limpieza:

a. "Toda el agua que proporcione un establecimiento será potable (pura y limpia, susceptible de beberse o usarse con fines de limpieza)."
b. "Todo establecimiento debe proveer un lavabo estándar por cada seis empleados, o su equivalente por cada 20 o la parte proporcional si fueran más y hasta 100. Si son más de 100, la razón será un lavabo o su equivalente por cada 25 trabajadores de cualquier sexo, o la parte correspondiente."
c. "Si se proveyera de rampas o depresiones, se considerará como equivalente a un lavabo a cada $2\frac{1}{2}$ pies de ellos equipados con tomas de agua caliente y fría, o una sola toma de agua templada. Si se dispusiera de lavabos circulares comunes, cada $2\frac{1}{2}$ pies de su circunferencia serán equivalentes a un lavabo."

Sec. 31-41 Ordenamiento para retirar el exceso de polvo:

"Todo patrón cuyo negocio requiera operar con lija, esmeril, tiza, corundo, piedra, carborundo u otro material abrasivo, pulidor o abrillantador, para fabricar artículos de metal o iridio, o incluya cualquier proceso que genere una cantidad excesiva de polvo, debe instalar y conservar... los dispositivos... necesarios... para eliminar de la atmósfera cualquier cantidad de polvo que se cree con dicho proceso..."

Figura 9-6 Ejemplo de normas de construcción para sanitarios.

Sec. 31-45 Equipos de emergencia que se requiere en las fábricas:
"Toda... empresa... que emplee personas para trabajar… con máquinas peligrosas… excepto las que cuentan con sala de primeros auxilios, deberán… colocar en el lugar en que se opera dicha maquinaria… un botiquín de emergencia para usarlo en caso de accidente… tales (botiquines) se guardarán en un estuche cubierto del polvo o gabinete de acceso fácil…"

Párr. 716.3 Las chapas y los seguros de las puertas de salida deberán abrir con facilidad desde adentro sin tener que usar llaves. Quedan prohibidos los tornillos, los ganchos y otros dispositivos similares en todas las puertas de salida necesarias.

728.2 En general, todos los señalamientos de salida deberán colocarse en las puertas o rutas de salida de modo que sean muy visibles y no queden sujetos al ocultamiento por humo. Siempre que el edificio esté ocupado se mantendrán iluminados desde un circuito eléctrico que se controle en forma independiente o desde otra fuente de energía.

Figura 9-6 (continuación) Ejemplo de normas de construcción para sanitarios.

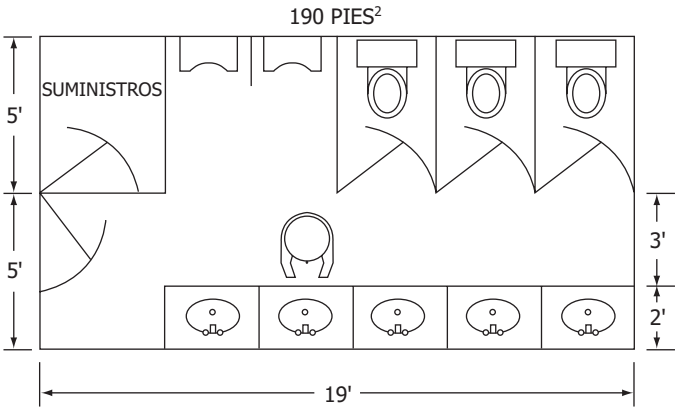


Figura 9-7 Sanitarios para hombres.

podrían usarse para comprar otros servicios a la compañía que provee las máquinas (por ejemplo, un dependiente que las atendiera durante los periodos de uso intensivo). Estas personas también conservarían limpio y ordenado el comedor.

Los vendedores ambulantes son personal externo que llevan sus vehículos especiales a la puerta trasera y hacen sonar una bocina para indicar el inicio de los periodos para almorzar o descansar. Sólo las plantas muy pequeñas usan este servicio. En los edificios de oficinas también se usan carritos para repartir café y donas. Van de oficina en oficina y de un piso a otro. Los vendedores ambulantes reciben el nombre amistoso de "diligencias". Sea como sea que se les llame, proporcionan un servicio útil.

Los comedores ejecutivos se usan para atender a ciertos clientes, proveedores y accionistas. Es común que ofrezcan una selección limitada de menú y la comida se prepare en el sitio. Los comedores no tienen la capacidad de atender a mucha gente de manera simultánea y, por lo general, la comida se lleva más tiempo.

Para muchos empleados resulta atractivo acudir a comedores de la localidad, ubicados fuera de su sitio de trabajo. Les permite salir del lugar donde laboran. Los negociantes privados cultivan una clientela local para almorzar y crean un ambiente confortable para

comer. Pero la mayor parte de trabajadores fabriles no disponen de tiempo suficiente para salir de la planta a almorzar. Las compañías desalientan que los empleados dejen la planta durante el almuerzo porque pierden el control sobre ellos (p. ej., quizá se incluya una bebida alcohólica en los alimentos).

Los comedores deben brindar un ambiente cómodo y placentero para recuperarse del agotamiento y almorzar. Las instalaciones agradables demuestran respeto por los empleados y mejoran la productividad de la fuerza de trabajo, pues permiten que los trabajadores recuperen su energía para el periodo siguiente. Comodidad, atracción, velocidad de servicio y ubicación conveniente son importantes en el diseño de un comedor. La ubicación se analiza en el diagrama de relación de actividades que se estudió en el capítulo 6, pero deben considerarse dos factores más:

1. Una instalación o área externa para comer daría más flexibilidad a los empleados. Con clima agradable, dicha instalación elevaría la moral. Una pared exterior da acceso fácil a la distribución de comida y al retiro de la basura.
2. Es común que el flujo de empleados haga que éstos necesiten lavarse antes de comer y saquen sus raciones de casilleros, por lo que cerca del comedor deberá haber sanitarios y cuartos de casilleros.

El tamaño del comedor dependerá de **1.** número de empleados, **2.** tipo de servicio que se brinda, y **3.** instalaciones que se incluyen.

La figura 9-8 muestra los datos de respaldo para tres comedores de tamaño distinto. Como puede ver son muy parecidos en cuanto a superficie por persona (10 pies cuadrados). El espacio para cafetería se ahorra si la comida se prepara fuera y se lleva a la planta para el almuerzo. También puede ahorrarse espacio si se traslapan los periodos para comer. Un periodo que comience cada 10 minutos reduciría el tiempo de espera o el número de instalaciones que se requiere para un tiempo de 30 minutos para tomar los alimentos (todo lo que se necesita es sentarse de 15 a 20 minutos). Hay que tener presente que caminar de ida y vuelta a la estación de manufactura, y permanecer en la línea de espera, requiere de 10 a 15 minutos del tiempo de los empleados (vea la figura 9-9). Una buena estimación para el comedor sería de 10 pies cuadrados por empleado. La figura 9-10 presenta un ejemplo de distribución de un comedor para 500 personas.

Por persona o unidad	*3 periodos, 100 personas*	*5 periodos, 500 personas*	*7 periodos, 1,000 personas*
Línea de servicio en la cafetería (300 pies)	—	300	600
Línea de espera (4 pies cuadrados)	120	180	320
Máquinas expendedoras (20 pies cuadrados)	100	—	—
Área para comer	495	1,995	3,000
Desperdicios ($\frac{1}{2}$ pie^2)	50	250	500
Almacenamiento de comida (de $\frac{1}{2}$ a 1 pie^2)	50	500	1,000
Preparación de comida (2 pies/comida)	—	Abastecida	2,000
Lavado de trastos (de $\frac{1}{2}$ a 1 pie^2)	—	500	750
Total	815	3,725	8,170
Pasillos y varios +25 por ciento	204	931	2,043
Gran total	1,019 pies^2	4,656 pies^2	10,213 pies^2
Superficie por persona (pies cuadrados)	10.2 pies^2	9.3 pies^2	10.2 pies^2
Tamaño	22×46	48×96	71×143

Figura 9-8 Determinación del espacio para almorzar.

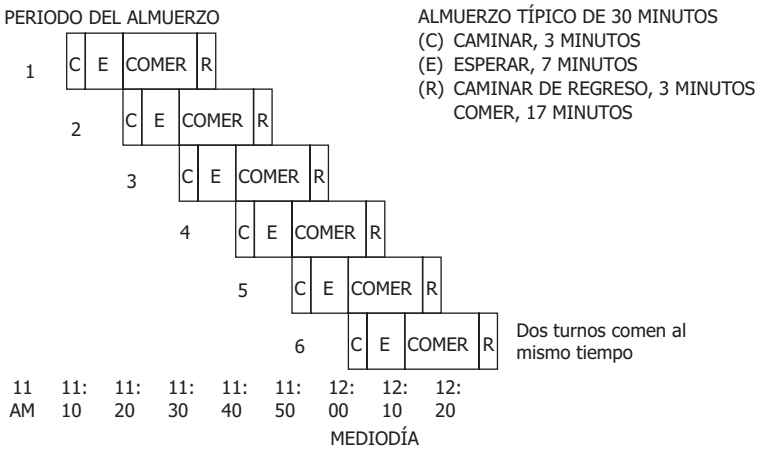


Figura 9-9 Almuerzo escalonado.

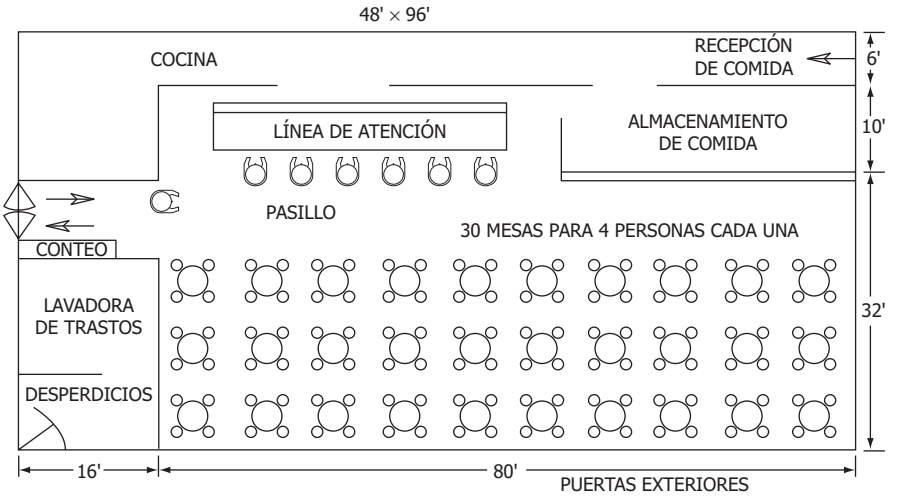


Figura 9-10 Distribución de la cafetería para 500 personas.

INSTALACIONES RECREATIVAS

Las instalaciones recreativas se vuelven más importantes año con año. Los empleados concientes de su salud son mejores y las empresas reconocen este hecho. Clubes de salud, pistas para correr, cuartos para armarios, así como mesas de ping-pong, juegos de naipes y clubes sociales, se están volviendo parte de las plantas de hoy. Estas instalaciones requieren espacio y el diseñador de la distribución de la planta debe hablar con la administración para que comprenda cuáles deberán incluirse. Para cada una de ellas debe hacerse un plano de su distribución, y éste debe contener el espacio individual que se determinó.

BEBEDEROS

Deben localizarse dentro de una distancia de 200 pies de cada empleado y sobre los pasillos, para que haya acceso fácil. Cada bebedero incluirá espacio para el recipiente y la persona que bebe. Cada bebedero tendrá quince pies cuadrados (3 pies por 5).

PASILLOS

Si no se tiene cuidado, los pasillos consumirán la mayor parte del espacio de la planta. Son para que circule gente, equipo y material, y deben dimensionarse para ese uso. Por ejemplo, que haya tráfico de montacargas en dos sentidos significa que el pasillo debe ser capaz de manejar dos de ellos que pasen uno junto al otro, más un espacio de seguridad (4 + 4 + 2 pies). En este caso, se necesitan pasillos de 10 pies. Los pasillos para dos personas deben tener un ancho de al menos 5 pies. Toda repisa o anaquel en las estaciones de manufactura debe tener acceso al pasillo.

Los pasillos deben ser largos y estrechos. El pasillo principal de la planta debe ir desde la plataforma de recepción hasta la de envíos, a través de la planta. Los pasillos laterales serán más pequeños y perpendiculares al principal (vea la figura 9-11).

El porcentaje de la superficie total de la planta que se dedique a pasillos (pies cuadrados de pasillo divididos entre el total de superficie) es una valiosa medición. Este porcentaje debe plasmarse en una gráfica al menos cada año. El objetivo es reducirlo. He aquí dos ideas para disminuir la superficie de pasillos:

1. Usar vehículos para estar de pie para manipular objetos, en lugar de montacargas, debido a su menor radio de giro.
2. Usar armazones para plataformas con doble profundidad, o que permitan la colocación de éstas por los montacargas, con lo que se reducirá al menos en la mitad el número de pasillos.

La asignación de espacio para los pasillos de producción se consigue con el incremento de la superficie total de los espacios para los equipos de producción en un factor de 50 por ciento.

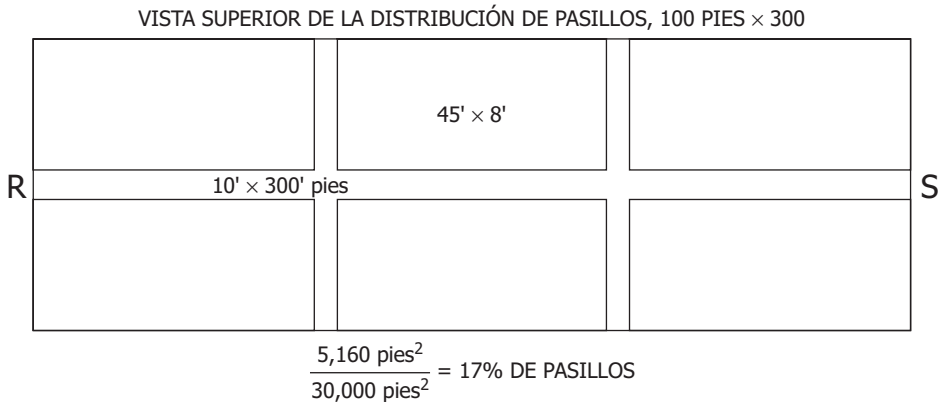


Figura 9-11 Distribución de pasillos.

El espacio de pasillos para la bodega se calcula con el número de pies de pasillo de las unidades de almacenamiento (vea el capítulo 8). Los pasillos de acceso que rodeen los equipos quedan incluidos en la distribución de las estaciones de manufactura.

INSTALACIONES MÉDICAS

Éstas varían desde salas de primeros auxilios de 6 pies × 6 pies, hasta hospitales verdaderos. En las plantas más pequeñas, los primeros auxilios los brindan empleados capacitados. Las emergencias médicas se manejan en las salas de emergencia del hospital o en la clínica de la localidad. Si una planta tiene cerca de 500 empleados, se justifica la presencia de una enfermera certificada. Las enfermeras requieren instalaciones como salas de espera, cuarto de auscultación, suministros médicos y áreas de registro y reposo. Una enfermera necesitará una superficie de 400 pies cuadrados. Si la planta tuviera 3,000 empleados, habría justificación para 6 enfermeras y se contrataría con un doctor que supervisara al personal médico. En función del número de turnos y el tipo de manufactura que se hiciera, se requerirían varias instalaciones médicas. Algunos de los requerimientos de espacio serían los siguientes:

Oficina	100 pies^2/enfermera
	200 pies^2/doctor
Sala de auscultación	200 pies^2/cuarto
Sala de espera	25 pies^2/enfermera y doctor
Cuarto de suministros	25 pies^{2}enfermera o doctor
Sala de primeros auxilios	36 pies^2

La figura 9-12 muestra una instalación médica mínima. La figura 9-13 ilustra la distribución de una instalación más grande.

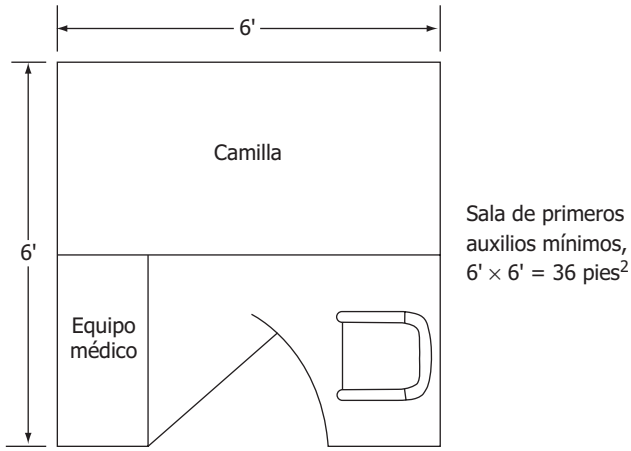


Figura 9-12 Instalación médica mínima.

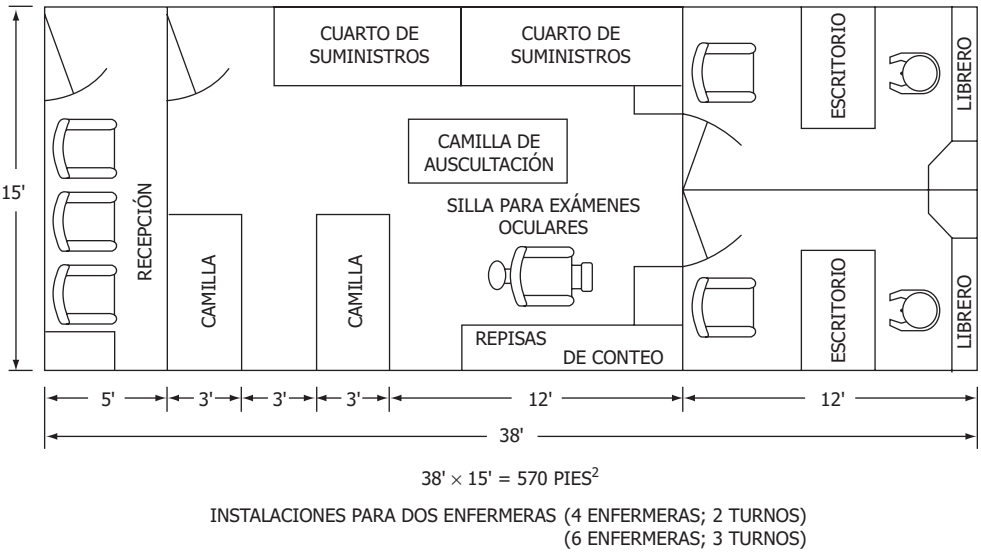


Figura 9-13 Instalaciones médicas mayores.

ÁREAS DE DESCANSO Y ESPERA

Si el comedor se encontrara muy alejado de ciertos grupos de empleados, se proporcionaría un área de descanso. "Muy alejado" se define como más de 500 pies. Recorrer caminando quinientos pies toma 2 minutos. Para un receso de 10 minutos, si se camina 2 minutos al comedor y otros 2 de regreso, sólo quedarían 6 minutos para descansar. Un área de descanso en un lugar lejano incluiría una mesa para comer, un bebedero y, tal vez, una o dos máquinas expendedoras; a veces también una mesa de ping-pong plegable y rodante. Habría espacio suficiente para todos los que estuvieran en receso. Los descansos escalonados reducirían la necesidad de espacio en exceso.

En las áreas de envío y recepción suele disponerse de estancias donde los conductores de los camiones que llegan esperan las cargas. El tamaño de dichas estancias será proporcional al número de vehículos que lleguen y salgan de la planta cada día. Las estancias también mantendrán fuera de la planta a quienes no son empleados (conductores de camión). Habrá sanitarios ubicados de manera conveniente cerca de las estancias, con el fin de eliminar la necesidad de que los choferes pasen al interior de la planta. La estancia debe dimensionarse con la multiplicación de 25 pies cuadrados por el número de conductores que podrían esperar al mismo tiempo. Si el máximo de conductores que se espera fuera de cuatro a la vez, entonces bastaría una estancia de 100 pies cuadrados.

SERVICIOS VARIOS PARA EMPLEADOS

Los servicios y las instalaciones anteriores son los que se encuentran más comúnmente en las plantas de manufactura. Algunas otras incluirían **1.** instalaciones de capacitación y edu-

Figura 9-14 Equipo de servicio para los empleados (cortesía de Global Equipment Co.).

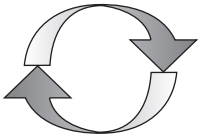
cativas, **2.** servicio de guardería de infantes, **3.** peluquería, **4.** bibliotecas, y **5.** instalaciones para ejercicio físico.

En la figura 9-14 aparecen muestras de equipo de servicios para los empleados.

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son los servicios para los empleados que requieren espacio?
2. ¿Cuántos lugares de estacionamiento se necesitan?
3. ¿Cuántos pies cuadrados se requieren para cada lugar de estacionamiento (inclusive pasillos)?
4. ¿Qué está incluido en el espacio de la entrada para empleados?
5. ¿Cerca de qué debe estar la entrada para trabajadores?
6. ¿Para qué es un cuarto de casilleros?
7. ¿Qué tan grande es un cuarto de casilleros?
8. ¿Cuántos sanitarios se necesitan?
9. ¿Cómo se sabe cuántos excusados, mingitorios y lavabos se requieren?
10. ¿Qué tan grande es un sanitario?
11. ¿Cuáles son los cinco tipos de instalaciones para comer?
12. ¿Dónde se localiza la instalación para consumir alimentos?
13. ¿Qué tan grande debe ser un comedor?
14. ¿Cuántos bebederos debe haber?
15. ¿Qué tan grandes son las áreas de los bebederos?
16. ¿Cuánto espacio de la planta debe dedicarse a los pasillos?
17. ¿Con cuántos empleados se justifica una enfermera?
18. ¿Qué tan grande debe ser una instalación médica?
19. ¿Qué es la AAD y qué implicaciones tiene para el diseño de instalaciones?
20. Además de los requerimientos para el personal y las áreas que se recomiendan en el libro, ¿cuáles otras sugiere para beneficiar a los empleados?

PROYECTO EN LA PRÁCTICA



Los tres capítulos anteriores estudiaron aspectos diferentes del cálculo y la evaluación de las necesidades de espacio. Aquí se presentan resumidas todas las asignaciones de área para la compañía Shade Tree Grills, a partir de los requerimientos de espacio para el personal y los equipos.

Las figuras siguientes incluyen datos de la distribución de la maquinaria y los equipos, el espacio para éstos, y los requerimientos totales de espacio para oficinas de la planta de Shade Tree Grills. Hay que recordar que el tamaño conjunto de la instalación es la suma de todas las necesidades individuales. Cada estación de manufactura, departamento, área de oficinas y actividades, debe considerarse, y sus necesidades de espacio analizarse y determinarse. Por tanto, el proyecto completo tendrá la distribución de *cada* centro de trabajo, espacio de oficinas e inventarios de materias primas, trabajos en proceso (WIP) y bienes terminados. Si no se considera la necesidad de espacio de un artículo particular en el inventario (repeticiones y desechos, inclusive), o el sitio para estacionar los equipos de manejo de materiales, o donde se guardan las plataformas, usted puede estar seguro de que dichos objetos saturarán los pasillos u otros lugares inapropiados. Esto no sólo indicaría falta de previsión del planeador de las instalaciones, sino también generará un ambiente congestionado e inseguro.

Datos de distribución de maquinaria y equipo

Planta: Shade Tree Grills
Preparado por: DJK

Agua: —
Emanaciones: —
Gas: —

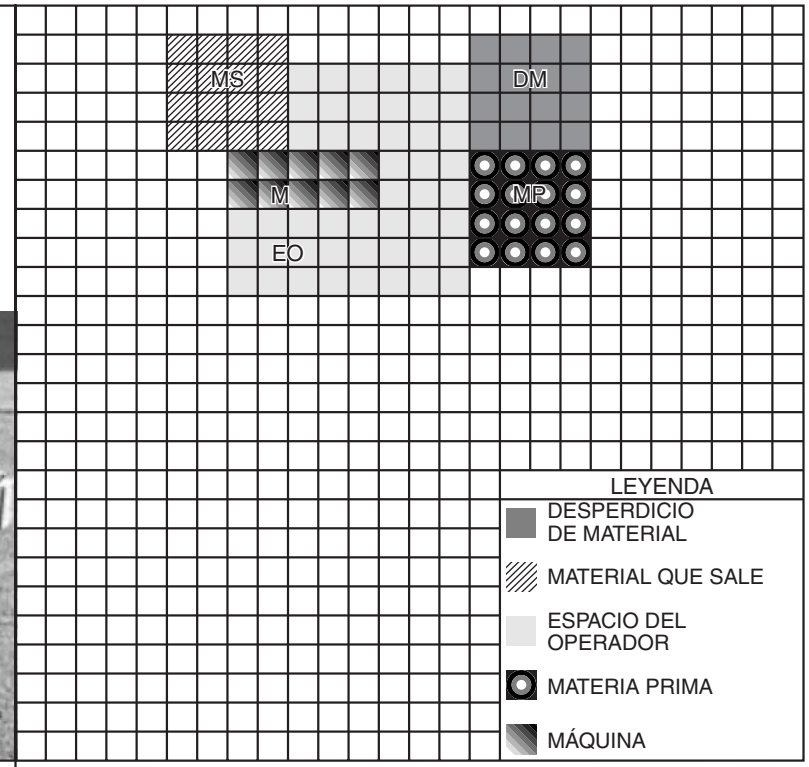
Drenes: —
Electricidad: 220v
Estacionamiento: —

Nombre/Tipo: JUTEC850
Núm. de máquina: JTC850

Fabricante: Jutec

Área bruta necesaria: 106 pies^2

Levantamiento o fotografía Fecha: 4/4/xx

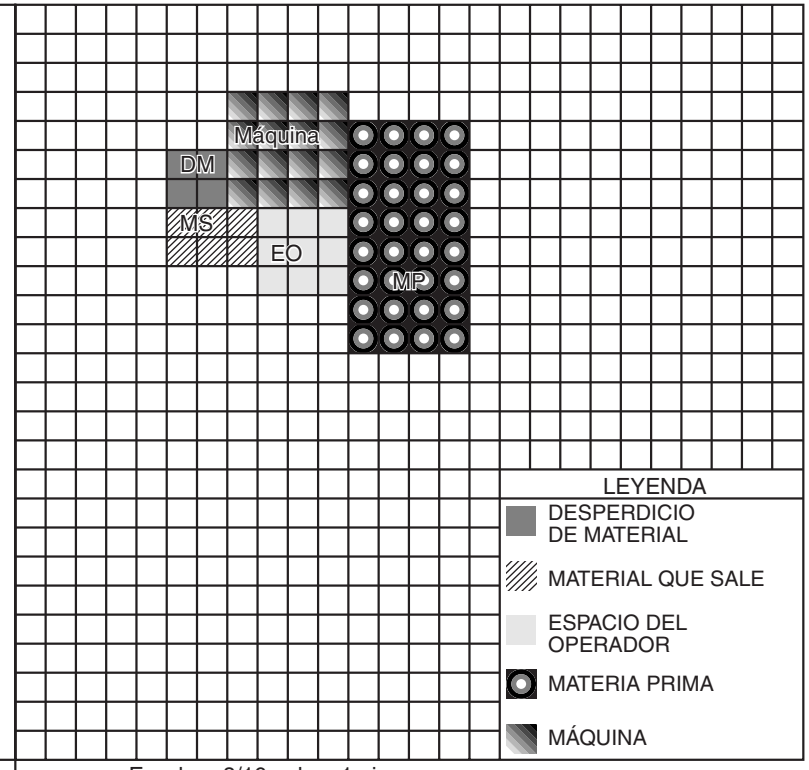


Escala: 3/16 pulg = 1 pie

Datos de distribución de maquinaria y equipo

Planta: Shade Tree Grills
Preparado por: JRS
Agua: —
Emanaciones: Sí
Gas: —
Drenes: —
Electricidad: 220v
Estacionamiento: —

Nombre/Tipo: Resistencia
Fabricante: Lincoln
Núm. de máquina: LR560
Área bruta necesaria: 67 pies^2



Levantamiento o fotografía Fecha: 4/4/xx

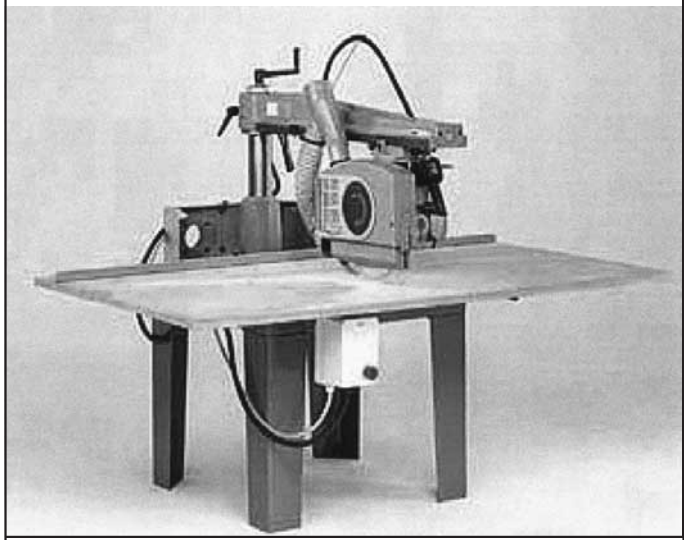
Escala: 3/16 pulg = 1 pie

Datos de distribución de maquinaria y equipo

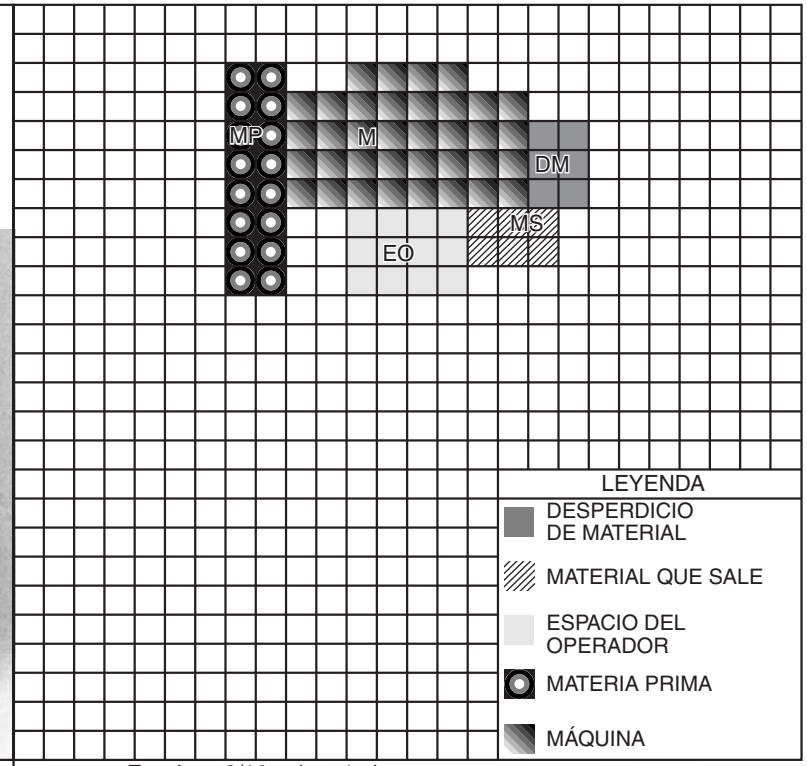
Planta: Shade Tree Grills
Preparado por: JRS
Agua: —
Emanaciones: Recoger polvo
Gas: —
Drenes: —
Electricidad: 220v
Estacionamiento: —

Nombre/Tipo: Sierra circular
Fabricante: Big 800
Área bruta necesaria: 76 pies^2

Núm. de máquina: B800



Levantamiento o fotografía Fecha: 4/4/xx



Escala: 3/16 pulg = 1 pie

Cálculos de espacio de almacenamiento

Parte	*Tamaño (pulg)*			*pulg³*	*Cantidad máxima*	*Espacio máximo (pulg³)*	*Inventario promedio*	*pies³*	*Anaquel 1 × 1 × 3*	*Plataformas 4 × 4 × 4*
Parrilla fundida inferior	14	16	24	5,376	1,000	5,376,000	2,688,000	1,557.36	0.00	24.33
Parrilla fundida superior	16	18	10	2,880	1,000	2,880,000	1,440,000	834.30	0.00	13.04
Asa de madera	10	2	2	40	1,000	40,000	20,000	11.59	3.86	0.00
Ruedas	6	6	2	72	2,000	144,000	72,000	41.71	13.90	0.00
Tapas de distribución	2	2	2	8	2,000	16,000	8,000	4.63	1.54	0.00
Encendedor	3	2	2	12	1,000	12,000	6,000	3.48	1.16	0.00
Ensamble de válvula	10	4	4	160	1,000	160,000	80,000	46.35	15.45	0.00
Elemento de ignición	12	4	4	192	2,000	384,000	192,000	111.24	37.08	0.00
Parrilla para asar	14	16	0.5	112	1,000	112,000	56,000	32.44	10.81	0.00
Chimenea	14	16	2	448	1,000	448,000	224,000	129.78	0.00	2.03
Escudo contra calor	10	6	6	360	1,000	360,000	180,000	104.29	0.00	1.63
Bolsa de accesorios	10	12	12	1,440	1,000	1,440,000	720,000	417.15	139.05	0.00
				0		0	0	0.00	0.00	0.00
				0		0	0	0.00	0.00	0.00
				0		0	0	0.00	0.00	0.00
				0		0	0	0.00	0.00	0.00
				0		0	0	0.00	0.00	0.00
				0		0	0	0.00	0.00	0.00
				0		0	0	0.00	0.00	0.00
							TOTALES	3,294.32	222.87	41.03

Ésta es una lista PARCIAL de las partes
Las unidades de anaqueles contienen 7 entrepaños

Núm. total de unidades de anaqueles que se necesitan: 100.0000

Total de longitud (pies) de pasillo para las unidades de anaqueles: 300.0000

Las armazones sostienen 6 plataformas (columna de 2 de alto × 3 de ancho × 1 de profundidad) y miden 15 pies de sección transversal

Núm. total de plataformas necesarias: 50.0000

Total de longitud (pies) de pasillo para los armazones: 750.0000

Shade Tree Grills

Requerimientos de espacio para el equipo

Nombre de la máquina	Operación	Núm. de la máquina	Espacio requerido
JUTEC850	Doblar	JTC850	106 pies^2
Prensa perforadora	Perforar	8062 TRADESMAN	34 pies^2
Resistencia Lincoln	Soldar	LR560	67 pies^2
MINTER 300	Moldear	MNS300	476 pies^2
Big 800	Sierra de madera/acero	B800	152 pies^2
RYOBI	Lanzar arena	RBS	31 pies^2
SHARP	Bolsa de usos múltiples	J69	64 pies^2
Ingersoll Rand	Caseta de pintura	IR800	440 pies^2
NISSEI	Molde de inyección	NS60	73 pies^2

Requerimientos de espacio de estacionamiento

El total de empleados del primer turno es de 49

$50 \times 1.5 = 75$ lugares de estacionamiento

Shade Tree Grills

Requerimientos totales de espacio

Departamento de recepción	750 pies^2
Almacén de materias primas	4,050 pies^2
Departamento de fabricación	6,825 pies^2
Departamento de pintura	2,260 pies^2
Departamento de empaque	7,500 pies^2
Almacén de bienes terminados	7,850 pies^2
Departamento de envíos	750 pies^2
Oficinas	4,150 pies^2
Mantenimiento	400 pies^2
Cuarto de herramientas	170 pies^2
Control de calidad	170 pies^2
Cuarto para armarios	1,440 pies^2
Cafetería	600 pies^2

Total necesario: 36,915 pies^2

Requerimientos de espacio para oficinas

Espacio para equipos

Puesto	Escritorio/ silla	Mesa	Archivero	Silla lateral	Librero	Número de puestos	Total	Espacio total × 2
Presidente	50 pies^2	20 pies^2	5 pies^2	2 × 8 pies^2	3 pies^2	1	94	188 pies^2
(VP)	50 pies^2	20 pies^2	5 pies^2	2 × 8 pies^2	3 pies^2	1	94	188 pies^2
Ingeniero	40 pies^2	15 pies^2	5 pies^2	8 pies^2	3 pies^2	2	71	142 pies^2
Personal	40 pies^2	—	5 pies^2	8 pies^2	3 pies^2	2	56	112 pies^2
Secretaria	35 pies^2	—	5 pies^2	—	—	2	80	160 pies^2
Recepcionista	35 pies^2	—	5 pies^2	—	—	1	40	80 pies^2

Superficie total de oficinas

Puesto	Superficie de oficina
Presidente	400 pies^2
(VP)	350 pies^2
Ingeniero	300 pies^2
Personal	250 pies^2
Secretaria	100 pies^2
Recepcionista	100 pies^2

Shade Tree Grills

CAPÍTULO

10

Manejo de materiales

El *manejo de materiales* es la función que consiste en llevar el material correcto al lugar indicado en el momento exacto, en la cantidad apropiada, en secuencia y en posición o condición adecuada para minimizar los costos de producción. El equipo que permite llevar a cabo esta función se estudiará en el capítulo siguiente. En primer lugar, deben entenderse los principios y los sistemas de control del manejo de materiales.

Los sistemas de control del manejo de materiales son parte integral de los sistemas modernos de dicho proceso. Los sistemas de numeración de partes, localización, control de inventarios, estandarización, tamaño del lote, cantidades por ordenar, inventarios de seguridad, etiquetado y técnicas de identificación y captura automáticas (códigos de barras) son algunos de los sistemas que se requieren para mantener en movimiento el material de las plantas industriales.

El manejo de materiales se define, a grandes rasgos, como el movimiento de éstos en un ambiente de manufactura. La American Society of Mechanical Engineers (ASME), define el "manejo de materiales" como el arte y las ciencias que involucran el movimiento, el empaque y el almacenamiento de sustancias en cualquier forma. El manejo de materiales puede concebirse en cinco dimensiones distintas: movimiento, cantidad, tiempo, espacio y control.

El movimiento involucra el transporte o la transferencia real de material de un punto al siguiente. La eficiencia del movimiento, así como el factor de seguridad en esta dimensión son la preocupación principal. La cantidad por mover impone el tipo y la naturaleza del equipo para manejar el material y también el costo por unidad por la conveniencia de los bienes. La dimensión temporal determina la rapidez con que el material se mueve a través de las instalaciones. La cantidad de trabajo en proceso, los inventarios en exceso, el manejo repetitivo del material y los tiempos de distribución de la orden, se ven influidos por

este aspecto de los sistemas del manejo de materiales. El aspecto del espacio tiene que ver con el que se requiere para almacenar y mover el equipo para dicha labor, así como el espacio para las filas o el escalonamiento del material en sí. El seguimiento del material, la identificación positiva y la administración del inventario son algunos aspectos de la dimensión de control. El manejo de materiales también es parte integral de la distribución de la planta; no es posible separarlos. Un cambio en el sistema de manejo de materiales modificará la distribución, y si ésta cambia, el sistema de manejo se transformará.

El material se mueve manualmente o por medios automáticos, se mueve uno a la vez o por miles, se coloca en un lugar fijo o al azar, y se almacena en el piso o en lo alto. Las variaciones son ilimitadas y sólo comparar el costo de las distintas alternativas hará que surja la respuesta correcta.

La selección del equipo adecuado para manejar materiales es la respuesta a todas las preguntas de esta sección. La lista de dicho equipo incluirá más de 500 tipos (clasificaciones) diferentes, y si se multiplica ese número por los diversos modelos, tamaños y marcas, se dispondrá de varios miles de elementos de equipo.

El equipo de manejo de materiales ha reducido la monotonía del trabajo. Disminuyó el costo de producción y mejoró la calidad de vida en el trabajo para casi todas las personas en la industria actual.

Sin embargo, más de la mitad de todos los accidentes en la industria se atribuyen al manejo de materiales. El equipo para manipularlo elimina la carga manual. Pero, como todo equipo, también ocasiona lesiones, por lo que los ingenieros de proyecto que realizan dicha labor nuca olvidan los aspectos de seguridad.

En promedio, el manejo de materiales es responsable del 50 por ciento del costo total de las operaciones. En ciertas industrias, como la minería, este costo se incrementa al 90 por ciento del de las operaciones. Este hecho solo justifica el gran esfuerzo por parte de los administradores industriales y diseñadores de instalaciones.

JUSTIFICACIÓN DEL COSTO

El equipo para manejar materiales es caro, por lo que todas las operaciones deben justificar su costo. La mejor respuesta la brinda el costo unitario conjunto más bajo. Si un elemento de equipo muy caro reduce el costo unitario, es una buena compra. Si no lo hace, es mala.

El equipo que no necesita energía eléctrica es muy eficiente en cuanto a costo y siempre debe ser considerado. Las caídas por gravedad, rodillos, carros y gatos de mano sólo son algunos de los muchos métodos populares para mover materiales en forma económica.

Todos los costos de seguridad, calidad, mano de obra y equipo deben incluirse en los costos unitarios. Si se espera que alguien levante una carga de 100 libras (45 kilogramos) como parte de su trabajo, debe tomarse en cuenta el efecto a largo plazo de esa actividad, o el desorden de trauma acumulado (DTA) que se asocia con dicho trabajo. Las consideraciones ergonómicas del diseño del trabajo dictan que deben estudiarse ciertos tipos de sistema de manejo de materiales, como los dispositivos hidráulicos o neumáticos para levantar cargas. Si se contempla en forma aislada, el costo en dólares tal vez no se justifique; sin embargo, las consideraciones sobre la seguridad a largo plazo seguramente demostrarían que la inversión es prudente. Cierto fabricante de automóviles descubrió que un sencillo dispositivo manipulador evitó las lesiones serias y los dolores crónicos de espalda de los trabajadores de la línea de ensamble.

Problema modelo del costo de manejo de materiales

Una compañía que refina petróleo usa arcilla en su proceso de manufactura. Esta arcilla llega a la planta en sacos de 80 libras (36 kg) que se apilan en grupos de 40 por plataforma, y hay 50 plataformas en la caja de un vagón. Una espuela del tren entra al terreno de la planta, pero ésta no tiene una plataforma adyacente. Se utilizan dos cargas de vagón por año. El sindicato y la compañía acordaron que se contrataría a dos trabajadores a tiempo parcial durante una semana, dos veces al año y con un salario de $7.50 por hora para descargar dichos vagones. Usted supone que éste es un trabajo negativo y que nadie debiera trabajar tan duro. Estudia el proyecto.

¿Por qué se hace esto? Se necesita la arcilla y el ferrocarril es, por mucho, el medio de transporte más barato. Considere aspectos como los siguientes:

¿Qué?	=	2,000 sacos de 80 libras de arcilla son igual a una carga de 160,000 libras en el vagón; no hay disponibles bolsas de otro tamaño.
¿Dónde?	=	Del vagón en el patio del almacén, que está a 300 pies.
¿Quién?	=	Dos trabajadores eventuales.
¿Cuándo?	=	Una semana, dos veces al año.
¿Cómo?	=	Método presente. Descargar manualmente las plataformas del vagón, después llevarlas al almacén con el montacargas con el que ya se cuenta.

Éste es un trabajo para romper la espalda, pero, ¿cuánto podría dedicarse a mejorarlo? Se gasta una semana, dos veces al año, en dos empleados eventuales a los que se paga $7.50 por hora.

4 semanas por 40 horas semanales por $7.50 por hora = $1,200

Actualmente, por este trabajo se gastan $1,200 al año. ¿Se debe continuar con el método actual o hay otras alternativas? En el largo plazo, ¿el método presente es el más barato? El capítulo 11 proporcionará algunas respuestas a estas preguntas. ¿Cómo se justificaría la inversión de, por ejemplo, más de $2,400 (costo de la mano de obra durante dos años con el método manual del presente) para mejorar una tarea que se lleva a cabo de modo tan esporádico? Antes de tratar de responder a estas preguntas y concentrarnos tan sólo en el costo directo de la mano de obra, que en verdad es una falacia común, hay que considerar los hechos siguientes.

Los desórdenes de trauma acumulados y las lesiones relacionadas con el trabajo cuestan al negocio y a la industria dinero y productividad reales. De acuerdo con la U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS), la tasa de incidentes por desórdenes que se asocian con los traumas repetitivos se ha incrementado en forma sostenida desde 1986. Según la BLS, la tasa que se reportó en ese año fue de 6.4 por cada 10,000 TEE (tiempo completo equivalente). Esta tasa aumentó a 41.1 en 1994. En 1996, 25 millones de trabajadores reportaron dolor en la parte baja de la espalda, y en este mismo año el 25 por ciento de todos los trabajadores perdieron en promedio un día de trabajo al año debido al mismo problema. Además, en 1996, 2 por ciento de la fuerza de trabajo experimentó lesiones de espalda susceptibles de indemnización. Estas compensaciones costaron a los negocios de Estados Unidos 20 mil millones de dólares, aproximadamente, y se perdieron 12 millones de días laborables al año. Con el ejemplo dado de los sacos de 80 libras, debe ser de interés particular darse cuenta de que el costo de un caso "promedio" de dolor en la parte baja de la espalda tiene costos directos

superiores a $5,500. Los costos indirectos llegan a alcanzar la cifra total de más de $30 mil millones de pérdidas para Estados Unidos al año.

OBJETIVOS DEL MANEJO DE MATERIALES

El objetivo principal del manejo de materiales es reducir los costos unitarios de producción. Todos los demás objetivos se subordinan a éste. Pero una verificación adecuada de la disminución de costos son los subobjetivos siguientes:

1. Mantener o mejorar la calidad del producto, reducir los daños y velar por la protección de los materiales.
2. Alentar la seguridad y mejorar las condiciones de trabajo.
3. Aumentar la productividad por medio de lo siguiente:
   a. El material debe fluir en línea recta.
   b. Los materiales deben moverse una distancia tan corta como sea posible.
   c. Usar la gravedad... es energía gratuita.
   d. Mover más material de una sola vez.
   e. Mecanizar el manejo de materiales.
   f. Automatizar el movimiento del material.
   g. Conservar o mejorar las razones de manejo de materiales/producción.
   h. Incrementar el *throughput* mediante el empleo de equipo automático para manejar materiales.
4. Estimular el aumento en el uso de las instalaciones, con lo siguiente:
   a. Alentar el uso del espacio volumétrico de la construcción.
   b. Comprar equipo versátil.
   c. Estandarizar el equipo de manejo de materiales.
   d. Maximizar la utilización del equipo de producción con el uso de alimentadores de manejo de materiales.
   e. Conservar y, si es necesario, reemplazar todo el equipo y desarrollar un programa de mantenimiento preventivo.
   f. Integrar en un sistema todo el equipo para el manejo de materiales.
5. Reducir el peso inútil (muerto).
6. Controlar el inventario.

VEINTE PRINCIPIOS DEL MANEJO DE MATERIALES

El College Industrial Committee on Material Handling Education, patrocinado por The Material Handling Institute, Inc., y la International Material Management Society, adaptó los 20 principios para manejar materiales, que se aprecian en la figura 10-1.

En ellos se resume la experiencia de generaciones de ingenieros en el manejo de materiales, para beneficio de los nuevos profesionales. Estos principios son lineamientos para la aplicación del criterio apropiado. Algunos de ellos entran en conflicto con otros, por lo que será la situación que se diseña la que determine cuál es el correcto. Los principios serán una buena lista de verificación de las oportunidades para mejorar. Cada uno de ellos se estudiará en la sección siguiente.

1. *Principio de planeación.* Planear todo el manejo de materiales y las actividades de almacenamiento con el fin de obtener la eficiencia máxima en el conjunto de operaciones.
2. *Principio de los sistemas.* Integrar muchas actividades de manipulación es muy práctico en un sistema coordinado de operaciones, atención de los vendedores, recepción, almacenamiento, producción, inspección, empaque, bodegas, envíos, transporte y atención al cliente.
3. *Principio del flujo de materiales.* Disponer de una secuencia de operaciones y distribución del equipo que optimice el flujo del material.
4. *Principio de simplificación.* Simplificar el manejo por medio de la reducción, la eliminación o la combinación del movimiento y/o el equipo innecesarios.
5. *Principio de gravedad.* Utilizar la gravedad para mover el material hacia donde sea más práctico.
6. *Principio de la utilización del espacio.* Hacer uso óptimo del volumen del inmueble.
7. *Principio del tamaño unitario.* Incrementar la cantidad, el tamaño o el peso de las cargas unitarias o la tasa de flujo.
8. *Principio de mecanización.* Mecanizar las operaciones de manipulación.
9. *Principio de automatización.* Hacer que la automatización incluya las funciones de producción, manejo y almacenamiento.
10. *Principio de selección del equipo.* Al seleccionar el equipo de manejo, considerar todos los aspectos del material que se manipulará: movimiento y método que se usarán.
11. *Principio de estandarización.* Estandarizar los métodos de manejo, así como los tipos y los tamaños del equipo para ello.
12. *Principio de adaptabilidad.* Usar los métodos y el equipo que realicen del mejor modo varias tareas y aplicaciones para las que no se justifique el equipo de propósito especial.
13. *Principio del peso muerto.* Reducir la razón de peso muerto del equipo de manipulación a la carga que soportará.
14. *Principio de utilización.* Planear la utilización óptima del equipo y la mano de obra para el manejo de materiales.
15. *Principio de mantenimiento.* Planear el mantenimiento preventivo y programar las reparaciones de todo el equipo de manejo.
16. *Principio de obsolescencia.* Reemplazar los métodos y el equipo obsoletos de manejo en los casos en que otros más eficientes mejoren las operaciones.
17. *Principio de control.* Usar las actividades de manejo para mejorar el control del inventario de producción y la atención de las órdenes.
18. *Principio de capacidad.* Emplear el equipo de manejo para alcanzar la capacidad de producción que se desea.
19. *Principio del rendimiento.* Determinar la eficacia del rendimiento del manejo en términos de gasto por unidad manejada.
20. *Principio de seguridad.* Contar con métodos y equipo apropiados para hacer el manejo con seguridad.

Figura 10-1 Principios del manejo de materiales (reproducido con autorización del Material Health Institute).

1. Principio de planeación

El general Dwight D. Eisenhower afirmaba que el plan no era nada, pero la planeación era todo. Lo que quería decir era que lo importante era el proceso de planeación (todo el tiempo y el esfuerzo que se dedican al plan). El plan sólo es la forma de comunicar el enorme trabajo (planeación) que hay en él. La planeación del manejo de materiales considera todo

movimiento, necesidad de almacenamiento y retraso en las órdenes, con el fin de minimizar los costos de producción.

2. Principio de los sistemas

Todo el equipo para manejar los materiales debe funcionar junto, de modo que cada elemento se adapte. Éste es el *concepto de sistema*. Las cajas se ajustan a las plataformas, las plataformas al armazón, y las plataformas a la estación de manufactura. Una empresa juguetera compraba en el exterior partes manufacturadas, pero los proveedores las enviaban a la compañía en las cajas de ésta. Esta empresa sólo usaba cajas de cuatro tamaños diferentes que ajustaban a la perfección en las plataformas. Cuando las partes se llevaban a la línea de ensamble, la caja se ajustaba al dispositivo de manipulación de modo que quedaba en la posición perfecta para su uso.

Otro ejemplo del enfoque de sistemas involucra a un fabricante de televisores. Éste no manufacturaba el gabinete de madera, sino que lo compraba a un proveedor, quien lo construía para luego empacarlo en una caja de cartón que el fabricante de televisores le proveía. El gabinete llegaba a la planta, se extraía de la caja y se colocaba en un transportador para el ensamble (el aparato se ponía en el gabinete). Después, la caja de cartón se colocaba en un transportador teleférico elevado que la llevaba al departamento de empaque. Cuando el televisor estaba terminado, se regresaba la misma caja en la que se había recibido. Luego, la caja se llevaba a la bodega y se enviaba al cliente.

En otro ejemplo, una gran empresa aceitera adquiría botellas de plástico de un fabricante externo. Las botellas de un cuarto se empacaban en una caja con separadores para 12 de ellas. Estas cajas se colocaban en una plataforma y se enviaban a la planta embotelladora de la empresa petrolera. Ya en la planta, las botellas se pasaban a la línea en que se llenaban con aceite. Las cajas vacías se llevaban al extremo de empaque de la línea de llenado y se volvían a ocupar con 12 botellas; se cerraban, se apilaban en una plataforma y se enviaban al consumidor.

El principio de sistemas integra tantas etapas del proceso como sea posible en un sistema único, desde el proveedor hasta la planta y de ahí a los consumidores. Un sistema integrado es aquel en que todo parece ajustar con todo.

3. Principio del flujo de materiales

En los capítulos anteriores se estudiaron las técnicas para crear una distribución óptima para el flujo de materiales. Las técnicas de análisis de la fabricación, el ensamble y el empaque mostraron la forma de situar el equipo para lograr el flujo más corto. Las 10 técnicas siguientes le ayudarán a escoger el sistema óptimo de manejo de materiales.

4. Principio de simplificación

El manejo de materiales, como cualquier otra área del trabajo, debe revisarse para reducir su costo. La fórmula de simplificación del trabajo aconseja hacer cuatro preguntas:

1. ¿Puede eliminarse este trabajo? Ésta es la primera pregunta por hacer debido a que la respuesta afirmativa ahorraría la cantidad máxima de costo, es decir, todo. Con frecuencia es posible eliminar las actividades de manejo de materiales con la combinación de las operaciones de producción.

2. *Si no puede eliminarse,* ¿este movimiento se combinaría con otros, a fin de reducir ese costo? El *concepto de carga unitaria* (al que se dedica una sección especial de este capítulo) se basa en este principio de simplificación del trabajo. Si es posible mover dos por el costo de uno, el costo unitario del movimiento será de la mitad. Piense, ¿qué ocurriría si se movieran 1,000 en lugar de uno? En muchas ocasiones, los movimientos son susceptibles de eliminarse con eficacia si se combinan con un sistema de manejo de materiales automático que los lleve por las estaciones de manufactura. Un buen ejemplo de esto son los transportadores.

3. *Si no pueden eliminarse o combinarse,* ¿las operaciones se acomodan para reducir las distancias de recorrido? Reacomodar el equipo con el fin de que las distancias de viaje disminuyan reduce los costos del manejo de materiales.

4. *Si no puede eliminarse, combinarse o reencauzarse,* ¿es posible simplificarlo? La simplificación significa hacer el trabajo en forma más fácil. Más que cualquier otro tipo de equipo, ha sido el de manejo de materiales el que ha eliminado lo desagradable del trabajo. Algunas ideas para simplificar son las siguientes:

a. carros en lugar de cargar;
b. transportadores de rodillos para llevar las cajas de los camiones al piso de la planta;
c. carros de mano de dos ruedas;
d. manipuladores, que convierten a cualquiera en un superhombre;
e. rampas o caídas;
f. mesas de rodillos (rodamientos de baleros);
g. mecanización;
h. automatización.

La reducción del costo es parte del trabajo de todo ingeniero y administrador. El equipo para manejar materiales hace que esto sea más fácil.

5. Principio de gravedad

La fuerza de gravedad es gratuita y las formas de usarla en las estaciones de manufactura para llevar el material a éstas y transportar los artículos terminados son ilimitadas. La gravedad puede mover el material entre las estaciones de manufactura. Un fabricante de palos de golf lleva cajas de 100 cabezas de éstos entre las máquinas por medio de transportadores inclinados que tienen ruedas. Las cajas por sí mismas se sitúan en posición en la estación siguiente. En una planta de manufactura de barras para taburetes, los artículos terminados se llevan a la estación de empaque por medio de un transportador que las eleva 12 pies, desde donde caen a otro transportador flexible de patines que rueda 200 pies hasta el camión de envíos, o a una localidad de almacenamiento en la bodega.

6. Principio de la utilización del espacio

Uno de los objetivos del manejo de materiales es maximizar el espacio volumétrico de la construcción. El *cubo del inmueble* es el volumen expresado en pies cúbicos del edificio, que resulta de multiplicar su superficie (ancho × largo) por la altura. Los armazones, *mezzanines* y transportadores elevados son ejemplos de dispositivos para manejar materiales que persiguen ese objetivo. La compra o renta del terreno e inmueble de la planta son costos significativos que siempre están a la alza. Entre mejor se use el cubo del inmueble, menos espacio se necesitará comprar o rentar.

7. Principio del tamaño unitario

La *carga unitaria* es aquella constituida por muchas partes y que se mueve como una sola. Las ventajas de la carga unitaria son que es más rápido y barato moverla así que por separado. Las desventajas son las siguientes:

1. El costo de unificar las cargas y volverlas a separar.
2. El peso inútil (peso de las cajas, plataformas y objetos parecidos).
3. El problema de qué hacer con los vacíos.
4. La necesidad de equipo pesado y sus requerimientos de espacio.

Por supuesto, deben ponderarse las ventajas y las desventajas antes de considerar implantar un sistema de carga unitaria.

La unidad más común de carga unitaria es la plataforma. Casi todo es susceptible de apilarse en una plataforma y atarse con lazos o envolverse con plástico y moverse por la planta o por el mundo como una unidad. Las plataformas se construyen de materiales distintos con costos muy diferentes.

Cartón @ $1.00, cada una hará un solo viaje.
Plástico @ $4.00, 20 viajes cada una.
Madera @ $20.00, y una hará 100 viajes.
Patines de acero @ $150.00 y harán 2,000 viajes cada una.

Si no se tuviera la oportunidad de obtener de regreso la plataforma o su costo, se usaría una de cartón. Si se usaran las plataformas sólo dentro de la planta, se elegiría la de acero porque su costo por movimiento sería solamente de la tercera parte del que se tendría con las de madera o de plástico. Al seleccionar la técnica de carga unitaria debe considerarse todo: resistencia, durabilidad, versatilidad, peso, tamaño, costo y facilidad de uso. Las plataformas de madera son las más populares porque son empleadas por la industria del transporte. Cuando los camioneros entregan 18 plataformas cargadas de material, recogen 18 vacías y las regresan al proveedor. Si no se tiene un sistema de control de plataformas se perderán decenas de miles de dólares al año.

La plataforma sólo es una de las *técnicas bajo la masa* de la carga unitaria, con la que se da soporte a los bienes por medio de ponerla debajo de la masa (carga). Otros excluyen las cajas, los envases y las láminas deslizantes. Otros más son métodos que se *exprimen* y *suspenden* para manejar la carga unitaria.

Un camión compresor exprime la carga. El producto se apila en el piso en *arreglo tipo plataforma* como si estuviera en éstas (vea la figura 10-2). Una vez que la pila está lista, un montacargas con dos placas verticales (más o menos de 4 pies × 4 pies) se aproxima a ella y coloca una placa en el lado derecho y la otra en el izquierdo. Se cierran las dos placas y el material se exprime entre ellas. Luego se mueve la carga. Ésta se coloca encima de otra pila de productos similares hasta alcanzar el techo. La ventaja que tiene esto es que no hay costo por plataformas o espacio. Los camiones se cargan y descargan sin necesidad de plataformas.

En el proceso de suspender cargas unitarias de grúas de puente o travesaño, se cuelga un gancho de un motor elevado y se atan cadenas o cables que rodean la carga. Es frecuente que así se muevan madera y rollos y placas de acero. También es posible que un transportador tipo monorriel mueva las partes al mismo tiempo.

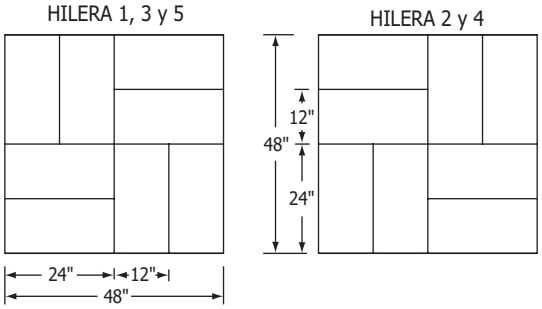


Figura 10-2 Arreglo tipo plataforma.

8. Principio de mecanización

El principio de mecanización consiste en aplicar energía para eliminar el transporte manual. La mecanización significa necesariamente automatización. Sólo implica el uso de herramientas mecánicas que ayuden a mover el material. Un patín o una plataforma motorizada son ejemplos perfectos de la mecanización sin automatización.

9. Principio de automatización

El principio de automatización hace automático el movimiento. Muchos sistemas nuevos son automáticos por completo. Los sistemas automáticos de almacenamiento y recuperación colocan el material en armazones de almacenaje de modo automático (sin intervención humana) y lo extraen cuando es necesario. Muchas máquinas son automáticas debido a que el equipo para manejar el material las carga y las descarga. La automatización es el camino del futuro, por lo que los usuarios de sistemas manuales deben analizar cuándo se justifica.

El *monoblock* de los motores se lleva de una máquina a otra de manera automática con el fin de procesarlo. Los centros de máquinas se acomodan alrededor de una mesa de índices. Cuando todas las máquinas terminan su función, la mesa avanza una estación y las máquinas regresan a trabajar. Las partes terminadas se retiran por gravedad, o bien, las recoge un robot y las coloca en un contenedor. Implantar este principio es agradable, porque la creatividad se verá bien recompensada y habrá satisfacción personal.

10. Principio de selección del equipo

¿Qué pieza de equipo para manejar materiales debe usarse? ¿Qué problemas deben estudiarse primero? ¿Debe hacerse una entrevista antes de analizar los problemas individuales de manejo de materiales? Éstas son las preguntas comunes que se plantea un ingeniero de proyecto nuevo. Es fácil elegir donde comenzar: se recaba información sobre el producto (material) y el movimiento (trabajo). Como se dijo en un capítulo anterior, la serie de preguntas que han utilizado generaciones de reporteros también será de utilidad al ingeniero del proyecto para el manejo de materiales: ¿por qué?, ¿quién?, ¿qué?, ¿dónde?, ¿cómo? Si se responden estas preguntas para cada movimiento, la solución será evidente.

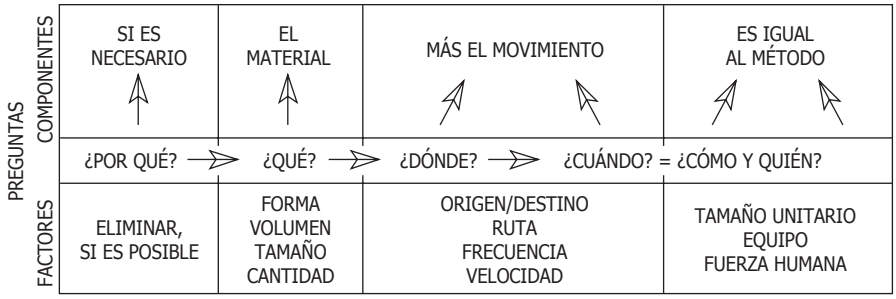


Figura 10-3 Ecuación del manejo de materiales.

La ecuación de manejo de materiales es el plan hacia un enfoque sistemático para la solución por medio del equipo. (Vea la figura 10-3.)

Si se comprende el material más el movimiento, se desarrollará el elemento apropiado de equipo.

A continuación se presenta la lista de las preguntas específicas por hacer:

1. *¿Por qué se hace este movimiento?* (¿Por qué?) Esta pregunta se plantea, en primer lugar, porque si no hay una buena respuesta para ella, el movimiento puede eliminarse. Con la combinación de operaciones se evitará el movimiento entre ellas. Es posible combinar máquinas (llamadas *celdas de manufactura*) y eliminar los movimientos.

2. *¿Qué se está moviendo?* (¿Qué?) La comprensión de lo que se mueve requiere conocer el tamaño, la forma, el peso y el número de los objetos, así como el tipo de material. Una vez que se sabe lo que necesita trasladarse, se tiene la mitad de la información que se requiere para efectuar la selección del equipo.

3. *¿De dónde y hacia dónde se mueve el material?* (¿Dónde?) Si el movimiento siempre es el mismo, se garantiza una técnica de trayectoria fija (transportador). Si cambia de una parte a otra, se usa una de trayectoria variable (camión industrial). Si la trayectoria es corta, tal vez se use la gravedad (p. ej.,, rampas, rodillos, patines).

4. *¿Cuándo necesita moverse?* (¿Cuándo?) ¿El movimiento ocurre una vez o dos al día? Si es así, se requiere un camión industrial. Si sucede varias veces por minuto se emplea un transportador. Después de la pregunta número 5 se presentarán algunos ejemplos de análisis de la ecuación "material + movimiento = método".

5. *¿Cómo se llevará a cabo el movimiento?* (¿Cómo?) ¿A mano, con un transportador o un montacargas? Hay muchas opciones y el objetivo es el método más eficiente en cuanto a costo.

Enseguida se presentan algunos ejemplos de la forma en que se ponen en acción las preguntas anteriores.

Ejemplo 1: Mover: aceite de un carro tanque a la cisterna de una granja para una compañía embotelladora.

Por qué	=	el aceite se necesita para llenar latas de un cuarto.
Qué	=	aceite.
Dónde	=	del camión a la cisterna.
Quién	=	empleado de recepción.
Cuándo	=	cuatro veces al día, conforme llega.
Cómo	=	bomba, medidor y manguera.

Ejemplo 2: Descargar 20,000 libras de existencias de acero plano, de un camión plataforma a la planta.

Por qué	=	el acero se necesita en la planta (si estuviera en rollo sería mejor).
Qué	=	20,000 libras de acero (31/2 pies × 10 pies × 20 pulgadas).
Dónde	=	desde la plataforma del camión hasta el área de almacenamiento.
Quién	=	empleado de recepción.
Cuándo	=	40,000 libras por día (un camión).
Cómo	=	grúa puente.

Ejemplo 3: Mover partes, una a la vez, de la estación de soldadura a la de pintura y luego a ensamblado.

Por qué	=	mover en forma automática una gran cantidad del producto.
Qué	=	cajas de herramienta y charolas para acarrear.
Dónde	=	de soldadura a pintura y a ensamblado.
Quién	=	de modo automático.
Cuándo	=	11 partes por minuto, 432 minutos por turno.
Cómo	=	transportador teleférico elevado.

Ejemplo 4: Transportar todo el producto (excepto las láminas metálicas) de la plataforma de recepción a los almacenes y/o a manufactura.

Por qué	=	para tener un banco de material con el fin de evitar que se agote la materia prima y las partes.
Qué	=	toda la materia prima y las partes adquiridas.
Dónde	=	desde la recepción a los almacenes y luego a manufactura.
Quién	=	empleado de recepción.
Cuándo	=	conforme llega el material y la producción lo requiere.
Cómo	=	a través de un pasillo estrecho que llega al camión.

Conforme la información se recaba, el panorama se aclara y el plan toma su forma. Entre más se sepa del material y el movimiento, mejor se hará el trabajo de seleccionar el equipo.

11. Principio de estandarización

Hay muchos tipos de equipo para manejar materiales: cajas de plástico, contenedores, plataformas, anaqueles, armazones, transportadores, camiones y otros parecidos; y en cada área se desea estandarizar toda la actividad a uno (o los menos posibles) en cuanto a tamaño, tipo e, incluso, marca. Las razones son muchas y cambian con el tipo de equipo, pero si se tiene un elemento especial de equipo para cada movimiento o almacén, se tendrán demasiados tipos y tamaños distintos para inventariar y controlar. Muchas compañías manufacturan equipo móvil para manejar material (como los montacargas). Se necesita elegir solo uno y luego conservar la marca, el tipo y el tamaño, porque el inventario de refacciones, mantenimiento y operación de dicho equipo será más eficiente en cuanto a costo. La selección y la estandarización del equipo no deben basarse solamente en el costo inicial de la compra. Los costos de los sistemas para manejar materiales se agrupan en dos clases: el de la propiedad del sistema, que incluye el precio inicial de la compra y el mantenimiento subsecuente, y el costo de operación. Este último incluye el costo de capacitación del personal para que lo use con seguridad, el costo de la energía y otros costos directos e indirectos que se asocian con el uso del sistema.

Contar con sólo unos cuantos tamaños de cajas de cartón simplificará el área de almacenamiento. Estos pocos tamaños de caja se pondrían en una sola plataforma de tamaño único y en un armazón de tamaño uniformado, que se atendería por un tipo de montacargas.

12. Principio de adaptabilidad

Hay que usar equipo que haga muchos trabajos diferentes sin que consuma tiempo o tenga costos excesivos. Si se justificara equipo de propósito especial por una cantidad razonable de tiempo, adelante, pero debe recordarse que el cambio es inevitable, y el equipo de propósito especial tarde o temprano se volverá obsoleto e inútil. El principio de adaptabilidad es la mejor razón para comprar un montacargas, que es muy versátil. Para cualquier volumen de producción casi siempre hay una mejor forma de mover el material por medio de un montacargas.

Hay que comprar plataformas estandarizadas, contenedores de plástico que guarden una variedad amplia de productos. De este modo, el cambio será menos costoso.

13. Principio del peso muerto

"No utilice un martillo neumático de 20 libras para clavar una tachuela." Intente reducir la razón del peso del equipo al peso del producto. No compre equipo que sea más grande de lo necesario.

"Peso inútil" es un término usado para describir el peso del material de empaque. Cuando se transporta un producto, éste se coloca dentro de un contenedor y a su alrededor se ponen materiales de empaque para impedir que se dañe con el movimiento. Asimismo, estos contenedores se sitúan en plataformas. El contenedor, el relleno y la plataforma se agregan al peso inútil. Si se envía este empaque, el transporte del peso inútil costará tanto como el del producto. La compra de dicho empaque también es cara. Por tanto, el objetivo es reducir el peso inútil y ahorrar dinero.

14. Principio de utilización

El equipo de manejo de materiales y sus operadores deben utilizarse por completo. Si se conoce el trabajo que se requiere, el número de veces por día y el tiempo necesario por movimiento, se facilitará el manejo de la carga en cuanto al personal y al equipo.

15. Principio de mantenimiento

El equipo para manejar materiales debe recibir mantenimiento. El mantenimiento preventivo (periódico o planeado) es más barato que el de emergencia, por lo que debe implantarse un programa para darlo, con planes para cada elemento del equipo de manejo de materiales.

Plataformas, cajas de plástico e instalaciones de almacenamiento también requieren repararse. Las maderas desprendidas de las plataformas ocasionan daños al producto y problemas de seguridad. Las plataformas de madera cuestan alrededor de $20 cada una, por lo que no deben desecharse porque se rompa un madero. Hay que habilitar un área para almacenarlas y repararlas.

16. Principio de obsolescencia

Conforme el equipo deje de servir por el uso o aparezca otro método mejor y más eficiente, hay que sustituirlo y mejorar las operaciones. Los registros adecuados del mantenimiento ayudarán a identificar el empleo que se ha dado a los equipos. Los buenos planeadores de sistemas siempre están en busca de formas para mejorar las operaciones.

17. Principio de control

Los materiales son costosos y los sistemas para su manejo son parte del sistema de control de inventarios. Los transportadores podrían mover el material a través de un escáner para contarlo, identificarlo y reencauzarlo. Los sistemas de identificación y captura de datos automáticos (ICDA) actualmente constituyen un aspecto importante del manejo de materiales. Es posible incorporar éste mediante el auxilio de dicha tecnología a las inspecciones de la calidad, el control de inventarios y el seguimiento de artículos. Los códigos de barras que se generan acompañan al producto desde el proveedor y a través de todas las etapas de producción y ensamblado, hasta su destino final. El código de barras contiene datos como los números de parte, ruta, cantidad de la orden y los cambios de ingeniería que haya sufrido ésta, sólo por mencionar algunos. La incorporación de esta tecnología en un sistema de manejo de materiales reduce de manera significativa, o elimina, la necesidad de contar o dar seguimiento al material por medios físicos. La información se introduce sólo una vez en la computadora y se actualiza en forma automática conforme el material pasa a través del sistema y el código de barras se lee. Esto elimina las antiguas etiquetas de papel en los empaques, así como las operaciones manuales que seguían. Los sistemas no sólo ofrecen un ahorro muy grande en el tiempo de operación, sino también mejoran significativamente los costos, la exactitud y la confiabilidad.

18. Principio de capacidad

Se desea obtener tanto como sea posible del equipo y de los empleados de producción. El equipo para el manejo de materiales ayuda a maximizar la utilización del de producción.

El ciclo de una prensa de golpe ocurre cada .030 minutos, o 33 veces por minuto, pero el tiempo estándar para cargar y descargar de modo manual dicha prensa es de sólo 300 piezas por hora. Esto representa sólo el 15 por ciento de la capacidad de la máquina.

$$\frac{\text{60 minutos por hora}}{\text{.030 minutos por unidad}} = \text{2,000 piezas potenciales por hora}$$

$$\frac{\text{300 piezas por hora presente}}{\text{2,000 piezas potenciales por hora}} = \text{15 por ciento}$$

Si se comprara un sistema de manejo de materiales para alimentar rollo a la prensa, se aproximaría al 100 por ciento de la utilización de la máquina.

El equipo para manejar materiales ayuda a que el de producción logre su potencial. No hay que comprar una máquina nueva, sólo aproveche la capacidad disponible de la que ya dispone.

19. Principio del rendimiento

Averigüe cuáles son los costos del manejo de materiales y trabaje en su reducción. La gráfica del proceso, que se estudió en un capítulo anterior del libro, proporciona una forma de calcular el costo unitario de cada movimiento. Éste es el punto inicial para disminuir el costo. El trabajo del manejo de materiales mueve éste, y una medida de la salida serían las libras movidas. La entrada es el número de horas de trabajo. Cualquier cosa que se haga para incrementar las libras movidas o para reducir las horas de trabajo incrementará la productividad.

El rendimiento del manejo de materiales también puede calcularse por medio de razones:

$$\text{Porcentaje de manejo de materiales} = \frac{\text{horas de manejo de materiales}}{\text{total de horas de trabajo}}$$

La vigilancia de este porcentaje muestra las mejoras en el rendimiento.

El rendimiento incluye mucho más que el trabajo. Separar el costo de manejar los materiales de los costos totales de operación resultaría en una razón mejor. De nuevo, la mejora de la razón indicaría la mejora del rendimiento.

20. Principio de seguridad

Es probable que el método más peligroso de manejar materiales sea el manual y, como ya se dijo, el equipo para hacerlo ha mejorado el mundo del trabajo más que cualquier otra área de la industria. El equipo de manejo de materiales también es fuente de problemas de seguridad, por lo que los métodos, los procedimientos y la capacitación respecto de la seguridad deben ser parte de cualquier plan de manejo. Es responsabilidad de la administración proporcionar un ambiente seguro de trabajo. Se gastan decenas de miles de millones de dólares en los trabajadores lesionados. Este costo humano también se refleja en el costo de los productos. Las consideraciones de seguridad deben ser un factor importante en la selección del equipo para manejar los materiales, toda vez que las actividades para ello son la causa principal de las lesiones de los empleados y de los pagos por indemnización en los Estados Unidos.

De acuerdo con el U.S. Census of Fatal Occupational Injuries, entre 6,000 y 6,600 trabajadores tuvieron lesiones fatales cada año, desde 1992. El National Safety Council estima que cada lesión laboral fatal cuesta, en términos monetarios, una cantidad aproximada de $790,000. Esta cifra incluye los salarios perdidos, los seguros médicos y los costos administrativos e indirectos, como el tiempo de producción que se pierde. Además, con base en los datos de la Social Security Administration publicados en 1993, se pagaron un total de $42.9 mil millones por todas las reclamaciones de indemnización de los trabajadores. Estos costos son significativos en términos tanto sociales como de productividad perdida para el sector de negocios.

En 1996, en el sector privado hubo un total de 6.2 millones de incidentes que ocasionaron lesiones no fatales relacionadas con el trabajo, lo que da una tasa de 7.4 casos por 100 trabajadores de tiempo completo equivalente, de acuerdo con la Bureau of Labor Statistics. La tabla siguiente acerca de tasas de lesiones muestra aquellas por 100 trabajadores de tiempo completo, desde 1992:

	1992	*1993*	*1994*	*1995*	*1996*
Industria privada	8.9	8.5	8.4	8.1	7.4
Producción de bienes	12.4	11.9	11.9	11.2	10.2
Producción de servicios	7.3	7.1	6.9	6.7	6.2

Entre las industrias de producción de bienes, fue la manufactura la que tuvo la tasa de incidencia más elevada en el año 1996.

PROCEDIMIENTO DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE MANEJO DE MATERIALES

Hay que usar los pasos siguientes y la lista de verificación para resolver el problema, mejorar la eficiencia y reducir los costos del manejo de materiales.

Paso 1. Analizar los requerimientos para definir el problema. Debe asegurarse que el movimiento se requiere.
Paso 2. Determinar la magnitud del problema. Lo mejor es analizar el costo.
Paso 3. Recabar tanta información como sea posible: por qué, quién, qué, dónde, cuándo y cómo.
Paso 4. Buscar a los vendedores. Con frecuencia, los proveedores brindan ingeniería muy buena que ayuda para justificar el costo.
Paso 5. Desarrollar alternativas viables.
Paso 6. Obtener datos de costos y ahorros para todas las alternativas.
Paso 7. Seleccionar el mejor método.
Paso 8. Elegir un proveedor.
Paso 9. Preparar la justificación del costo.
Paso 10. Elaborar un reporte formal.
Paso 11. Hacer una presentación para la dirección.
Paso 12. Obtener las aprobaciones (ajustadas según se necesite).
Paso 13. Emitir una orden.
Paso 14. Recibir e instalar el equipo.
Paso 15. Capacitar a los empleados.
Paso 16. Depurar (hacerlo funcionar el procedimiento) y revisar lo que sea necesario.
Paso 17. Introducir el procedimiento a producción.
Paso 18. Dar seguimiento para ver que trabaje como se planeó.
Paso 19. Hacer auditorías del rendimiento para ver que se obtiene una recuperación.

LISTA DE VERIFICACIÓN DEL MANEJO DE MATERIALES

100 Áreas de reducción de costos

Sí	*No*	
_____	_____	1. ¿Las plataformas de recepción y envío están protegidas de las inclemencias del tiempo?
_____	_____	2. ¿Son adecuados los mostradores de las plataformas?
_____	_____	3. ¿Los camiones se cargan y descargan a mano?

100 Áreas de reducción de costos (continúa)

Sí	*No*	
_____	_____	4. ¿El material que llega está empacado para su uso económico?
_____	_____	5. ¿Se reemplaza el equipo obsoleto?
_____	_____	6. ¿Se estandariza el equipo para manejar materiales a fin de reducir la necesidad de refacciones?
_____	_____	7. ¿Existe un programa de mantenimiento preventivo para cada elemento del equipo de manejo de materiales?
_____	_____	8. ¿Hay un área para reparar plataformas?
_____	_____	9. ¿Se tiene un programa de control de plataformas?
_____	_____	10. ¿Se mide y da seguimiento a la razón de manejadores de material a la mano de obra directa?
_____	_____	11. ¿Existe un programa de capacitación para manejar materiales?
_____	_____	12. ¿Se llevan registros de seguridad en el manejo de materiales?
_____	_____	13. ¿Alguno de los empleados levanta 50 libras o más en forma manual?
_____	_____	14. ¿Hay cualesquiera trabajos de manejo de materiales que requieran que más de una persona levante algo?
_____	_____	15. El espacio elevado se usa para
_____	_____	a. ¿almacenes?
_____	_____	b. ¿fabricación?
_____	_____	c. ¿pintura?
_____	_____	d. ¿ensamblado y empaque?
_____	_____	e. ¿bodega?
_____	_____	f. ¿oficinas?
_____	_____	16. ¿El control de peso se mide y registra en forma automática?
_____	_____	17. ¿Se recibe materia prima (como plásticos) en bolsas de 50 a 100 libras, aun cuando el uso justificaría utilizar equipo para manejarla a granel?
_____	_____	18. ¿Se almacena material del que se dispone en la localidad?
_____	_____	19. ¿El cubo del edificio se usa?
_____	_____	a. ¿Se almacena sólo a una altura de 8 pies?
_____	_____	b. ¿Las órdenes se guardan a sólo 6 pulgadas de altura?
_____	_____	c. ¿Se utilizan transportadores teleféricos elevados?
_____	_____	d. ¿Los hornos se encuentran en el piso?
_____	_____	e. ¿Se emplea la parte superior de los pasillos para almacenar?
_____	_____	f. ¿Se apilan objetos con una profundidad de dos o más?
_____	_____	g. ¿Los pasillos ocupan más del 30 por ciento de la planta?
_____	_____	20. ¿Se emplea equipo que usa energía aun cuando la gravedad podría realizar el trabajo?
_____	_____	21. ¿Se usa el equipo de manejo de materiales para hacer operaciones secundarias de manera automática, tales como:
_____	_____	a. contar?
_____	_____	b. pesar?
_____	_____	c. etiquetar o numerar?
_____	_____	d. separar?

100 Áreas de reducción de costos (continúa)

Sí	*No*	
_____	_____	e. cortar bolsas?
_____	_____	f. abrir y cerrar tapas?
_____	_____	g. pegar cajas?
_____	_____	h. cerrar cajas con bandas?
_____	_____	22. ¿Se mueve el material en forma automática hasta el punto de uso, y después se alimenta en forma manual?
_____	_____	23. ¿El área para dar mantenimiento y servicio al equipo móvil está ubicada en forma conveniente?
_____	_____	24. ¿Los empleados capacitados dedican tiempo a manejar materiales?
_____	_____	25. ¿La línea de ensamble se detiene cuando se distribuye y retira material?
_____	_____	26. ¿Los operadores tienen que cargar sus tolvas?
_____	_____	27. ¿Los operadores necesitan detener el trabajo cuando el material se carga en su estación de manufactura?
_____	_____	28. ¿Las áreas para almacenar material están congestionadas?
_____	_____	29. ¿Se mide la utilización del equipo para manejar materiales?
_____	_____	30. ¿Se estimula el retroceso?
_____	_____	31. ¿El equipo se mueve vacío más del 20 por ciento del tiempo?
_____	_____	32. ¿Los empleados de envíos cargan los camiones de transporte?
_____	_____	33. ¿Los manejadores de material se cargan con trabajo
_____	_____	a. según prácticas pasadas?
_____	_____	b. por tiempos estándar?
_____	_____	c. por suposición?
_____	_____	34. ¿Paga cargos por daños?
_____	_____	35. ¿Sabe cuáles son las cargas del piso?
_____	_____	36. ¿Los productos se dañan durante el manejo de materiales?
_____	_____	a. ¿Sabe cuál es el equipo responsable?
_____	_____	b. ¿Sabe cuánto dinero se pierde?
_____	_____	c. ¿Sabe qué persona es responsable?
_____	_____	37. ¿Los conductores de camión usan radios de dos canales?
_____	_____	38. ¿Los trabajadores manejan material demasiadas veces?
_____	_____	39. ¿Se mueven piezas aisladas aun cuando podrían moverse dos o más?
_____	_____	40. ¿Los pisos están lisos y limpios?
_____	_____	41. ¿Conoce cuál es la capacidad (en libras) de su equipo?
_____	_____	a. ¿La conocen los manejadores de material?
_____	_____	b. ¿El equipo tiene indicada su capacidad?
_____	_____	42. ¿Siempre cambia material de un contenedor a otro?
_____	_____	43. ¿Los pasillos tienen más de 8 pies de ancho?
_____	_____	44. ¿Ha hecho la gráfica del flujo del proceso de los productos?

100 Áreas de reducción de costos (continúa)

Sí	*No*	
_____	_____	45. ¿Se usan camiones con peso de carga certificado?
_____	_____	46. ¿Se emplea recepción en el punto de uso?
_____	_____	47. ¿Alguna vez almacena materiales en los pasillos?
_____	_____	48. ¿Cuándo es práctico se utiliza almacenamiento exterior?
_____	_____	49. ¿El inventario de seguridad es demasiado grande?
_____	_____	50. ¿Las puertas son demasiado chicas?
_____	_____	51. ¿Hay demasiadas puertas?
_____	_____	52. ¿Se controla el movimiento del material?
_____	_____	53. ¿Existe un sistema de localización?
_____	_____	54. ¿Se usan bidones en vez de tanques?
_____	_____	55. ¿Para los recorridos grandes se usan camiones en la planta?
_____	_____	56. ¿Los camiones o carros plataforma se cargan o descargan al piso?
_____	_____	57. ¿Sus clientes pueden descargar los camiones de usted?
_____	_____	58. ¿Es posible eliminar las plataformas?
_____	_____	59. ¿Se puede usar plataformas desechables (una sola vez)?
_____	_____	60. ¿Pueden construirse dispositivos de manejo de materiales en el empaque terminado?
_____	_____	61. ¿Se usan montacargas donde sería mejor carros para pasillos estrechos?
_____	_____	62. ¿Se emplea el contenedor de recepción para enviar?
_____	_____	63. ¿Los manejadores de material esperan al encargado del ensamble o empaque?
_____	_____	64. ¿Se ha eliminado el retroceso?
_____	_____	65. ¿Ha desaparecido el tráfico cruzado?
_____	_____	66. ¿Se ha reducido al mínimo la distancia de recorrido?
_____	_____	67. ¿Los materiales están demasiado lejos de su punto de uso?
_____	_____	68. ¿Los contenedores en una estación de manufactura son lo suficientemente grandes para hacer que ésta trabaje durante 2 horas o más?
_____	_____	69. ¿Las partes baratas se almacenan cerca de la estación de manufactura?
_____	_____	70. ¿La eliminación de los desechos
_____	_____	a. es por separación en su origen?
_____	_____	b. es con almacenamiento?
_____	_____	71. ¿El contenedor de envío puede comenzar la línea de producción?
_____	_____	72. ¿Los bienes terminados se almacenan a granel para maximizar el cubo del edificio?
_____	_____	73. ¿Las mesas giratorias podrían eliminar etapas?
_____	_____	74. ¿Se emplean señales luminosas para notificar a los manejadores de material que éste se necesita?
_____	_____	75. ¿Están ubicados en forma conveniente los artículos de uso frecuente?
_____	_____	76. ¿Se ha hecho el análisis ABC del inventario?

100 Áreas de reducción de costos

Sí	*No*	
_____	_____	77. ¿Se rompen cantidades de cartón para los envíos?
_____	_____	78. ¿Se usan carros de mano hidráulicos para hacer recorridos cortos?
_____	_____	79. ¿Es móvil el personal de mantenimiento?
_____	_____	80. ¿Se buscan de modo continuo formas de automatizar?
_____	_____	81. ¿Se pregunta la opinión de los operadores acerca de cómo hacer más fácil sus trabajos?
_____	_____	82. Cuando se rechaza la sugerencia de un empleado, ¿se dice a éste de manera formal porqué?
_____	_____	83. ¿Escucha a los proveedores (personal de ventas) de equipo para manejar materiales?
_____	_____	84. ¿Ha pedido a los proveedores que empaquen la materia prima en forma más conveniente?
_____	_____	85. ¿Se capacita por anticipado a los proveedores de modo que su material no necesita inspección al recibirse?
_____	_____	86. ¿Se cuenta con los mejores sistemas para enviar, envolver, unir, engrapar, etiquetar y marcar los productos?
_____	_____	87. ¿Se usan transportadores tanto como es posible
_____	_____	a. de la recepción a los almacenes?
_____	_____	b. de los almacenes a la producción?
_____	_____	c. de la fabricación: limpieza, pintura, y horneado, al montaje?
_____	_____	d. entre operaciones?
_____	_____	e. al tratamiento con calor?
_____	_____	88. ¿Las máquinas se cargan con vigas móviles?
_____	_____	89. ¿Se usan tablas de indización?
_____	_____	90. ¿Se emplean etiquetas de envío generadas por computadora?
_____	_____	91. ¿Los pesos de los envíos se generan por computadora?
_____	_____	92. ¿Se usan distribuciones numeradas o de ubicación por computadora para las bodegas?
_____	_____	93. ¿Todas las puertas están equipadas con mecanismos de apertura por aproximación?
_____	_____	94. ¿Las esquinas están protegidas con señalamientos y espejos?
_____	_____	95. ¿Se usan controladores e indicadores remotos para eliminar las subidas y caminatas a áreas alejadas?
_____	_____	96. ¿El equipo está protegido con botones de pánico?
_____	_____	97. ¿Los interruptores se controlan con el pie, la rodilla o la pierna, de modo que las manos queden libres para trabajar?
_____	_____	98. ¿Se utilizan tenazas de aire, eléctricas o hidráulicas para eliminar la necesidad de sujetar con las manos?
_____	_____	99. ¿Se usan plantillas para sujetar las partes en posición para soldarlas, cementarlas o ensamblarlas?
_____	_____	100. ¿Se emplean herramientas portátiles eléctricas en lugar de herramientas de mano?

PREGUNTAS

1. ¿Qué es el manejo de materiales?
2. ¿Cuáles son algunos de los sistemas para manejo de materiales?
3. ¿Cuál es el mejor elemento de equipo para manejar materiales para un trabajo específico?
4. ¿Cuáles son los objetivos del manejo de materiales?
5. ¿De dónde provienen los 20 principios de manejo de materiales?
6. ¿Cuáles son los 20 principios para manejar materiales?
7. ¿Cuál es la ecuación del manejo de materiales?
8. ¿Cuál es el procedimiento para resolver problemas de manejo de materiales?
9. ¿Cómo puede combinarse el manejo de materiales con otras actividades de la producción?
10. ¿En qué forma se incorporaría la identificación y captura de datos automáticas (ICDA) a los sistemas para manejar materiales?
11. Mencione algunas situaciones industriales en las que la ICDA mejoraría la eficiencia si se incorporara a un sistema de manejo de materiales.
12. ¿Cuáles factores, aparte del costo, se considerarían de importancia al seleccionar equipo para manejar materiales?
13. ¿Cuáles son las dos categorías de costo que se asocian con la selección y adquisición de equipo de manejo de materiales?
14. ¿Cuál sería un ejemplo de consideración ergonómica cuando se seleccionara equipo para manejo de materiales?
15. ¿Cómo incrementaría el uso del espacio de la planta el equipo para manejar materiales? ¿Cómo reduciría el inventario de trabajos en proceso (WIP)?
16. ¿Cuáles son las cinco dimensiones de un sistema de manejo de materiales?
17. ¿Qué significa desorden de trauma acumulado (DTA)?
18. ¿Cómo se reducen los riesgos del DTA por medio del uso de sistemas para el manejo de materiales?

CAPÍTULO

11

Equipo para el manejo de materiales

Literalmente, existen miles de tipos de equipos para manejar materiales. Varían de las herramientas de mano más básicas a los sistemas de manejo de materiales más sofisticados controlados por computadora, que incorporan un vasto conjunto de diferentes funciones de manufactura y control. Las estrategias y métodos de clasificación del equipo de manejo son variados y numerosos.

Por tradición, el equipo de manejo de materiales ha sido agrupado en cuatro categorías generales. La primera es el de *ruta fija* o de *punto a punto*. Esta clase de equipo atiende la necesidad de manejar el material a lo largo de una trayectoria predeterminada o fija. El ejemplo más común y familiar de sistema de ruta fija es el tren y su vía férrea. El tren viaja de un punto a otro y atiende cualquier lugar que se encuentre a lo largo del sistema de vía. En esta clasificación se encuentran los sistemas de transportador, de transportador energizado, por gravedad, u otros que se operan con sabiduría. Los sistemas de ruta fija para manejar materiales también se conocen como *sistemas de flujo continuo*. En este grupo se hallan los vehículos de guía automática (VGA).

El sistema de manejo de materiales de *área fija* atiende a cualquier punto dentro de un cubo o zona tridimensional. Ejemplos de éstos son las grúas de travesaño o puente. Una grúa de este tipo instalada en un pedestal sobre el piso mueve partes y otros materiales de un punto a otro en las direcciones *x*, *y* y *z*; sin embargo, esta capacidad se restringe al rango de alcance del equipo. En esta categoría también están los sistemas de almacenamiento y recuperación automatizados.

El equipo para manejar el material que se mueve a cualquier área de la instalación se conoce como de *ruta variable y área variable*. Todos los carros de mano, vehículos motorizados y montacargas se empujan, arrastran o conducen a través de la planta. ¿Cómo se llamaría entonces a una grúa de travesaño que se instalara sobre un pedestal móvil? Es obvio que se trata de un sistema compuesto para manejar materiales. La grúa es un sistema de área fija y el pedestal es un vehículo de ruta variable. Una vez que se estaciona la base, la grúa queda limitada a su alcance.

La cuarta categoría consiste en todas las *herramientas y equipos auxiliares* tales como plataformas, patines, sistemas automáticos de obtención de datos y contenedores.

En las secciones siguientes de este capítulo se estudiará cada categoría de los sistemas para manejar materiales en varias aplicaciones y áreas de la instalación. Se observará que cualquier dispositivo para ello tiene varias aplicaciones en departamentos diferentes de la instalación de manufactura, y que se inserta con facilidad en una de las cuatro clasificaciones mencionadas.

¿Cómo elegir el elemento apropiado de equipo entre los miles que existen? Para el ingeniero o gerente de proyectos experimentado éste problema no es tan grande como lo es para el principiante. El nuevo planeador de instalaciones debe utilizar un enfoque organizado para determinar las necesidades de equipo, el cual sigue el flujo desde la recepción del material hasta la bodega.

1. Recepción y envíos.
2. Almacenes.
3. Fabricación.
4. Ensamblado y pintura.
5. Empaque.
6. Embodegar.

Por su importancia, es necesario estudiar dos áreas adicionales del manejo de materiales: los sistemas de manejo de material a granel y los de almacenamiento y recuperación automáticos.

El principio de los sistemas de manejo de materiales establece que todos los dispositivos para el efecto deben usarse en tantas áreas como sea posible, y que todo se ajusta (trabaja) junto. En el análisis que sigue del equipo para manejar materiales, se estudiará cada elemento de equipo en el área principal en que se usa.

RECEPCIÓN Y ENVÍO

Es frecuente que el equipo de manejo de material para recibir y hacer envíos sea el mismo. A veces, la recepción y el envío se llevan a cabo a través de la misma puerta de la plataforma. A fin de ahorrar tiempo, se estudiarán a la vez a ambos departamentos, que son de suma importancia.

Plataformas de recepción y envío

Existen plataformas para recibir y hacer envíos de distintos tamaños y configuraciones. El término *plataforma* proviene de la industria naviera, en la que las naves se remolcan a puerto, atracan, amarran y descargan. Las plataformas de las plantas industriales tienen el mismo propósito. Los camiones, trenes y barcos llegan a ellas para dejar o retirar material.

El tipo más común de plataforma es el que se conoce como de *descarga*, que son puertas en una pared exterior. El camión o tren llega de frente o de reversa a la puerta. Los camiones suelen operar por la puerta trasera, pero algunos de ellos y la mayor parte de vagones lo hacen por las laterales. Las plataformas de descarga se diseñan tanto para el servicio por la parte posterior como por la lateral. La altura del piso de la planta en la zona de circulación o de vías férreas debe ser de 46 pulgadas (1.17 metros) para los camiones y de 54 (1.37 metros) para los vagones. Los accesos deben tener pendiente hacia el lado

contrario de la planta a fin de impedir que el agua dañe los cimientos del inmueble. Las plataformas con pendiente hacia la planta por lo general se realizan después de levantada ésta, o se hacen para construcciones baratas de corta duración. Las plataformas con pendiente negativa serán fuente continua de problemas, aun con drenaje. Pareciera que todo fluye y llega a las tuberías. La figura 11-1a muestra la vista lateral de una plataforma de descarga por la puerta posterior. Observe la altura que tiene, la pendiente hacia fuera de la planta, los topes, los letreros y la plataforma. También observe las ruedas frontales del camión. Esas ruedas pequeñas aplicarán gran peso al piso, por lo que hay que asegurarse de que éste soporte camiones enormes. La figura 11-1b es la vista superior de la misma

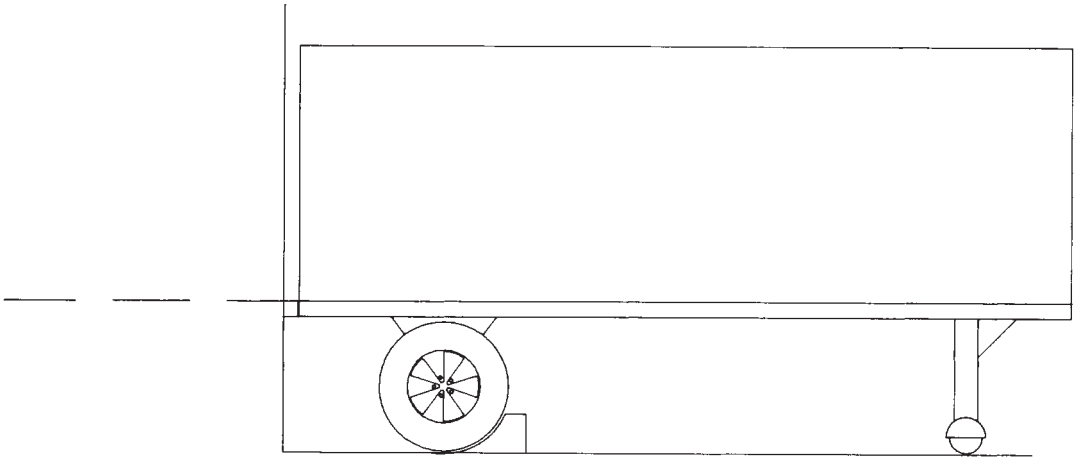


Figura 11-1a Plataforma de descarga —vista lateral.

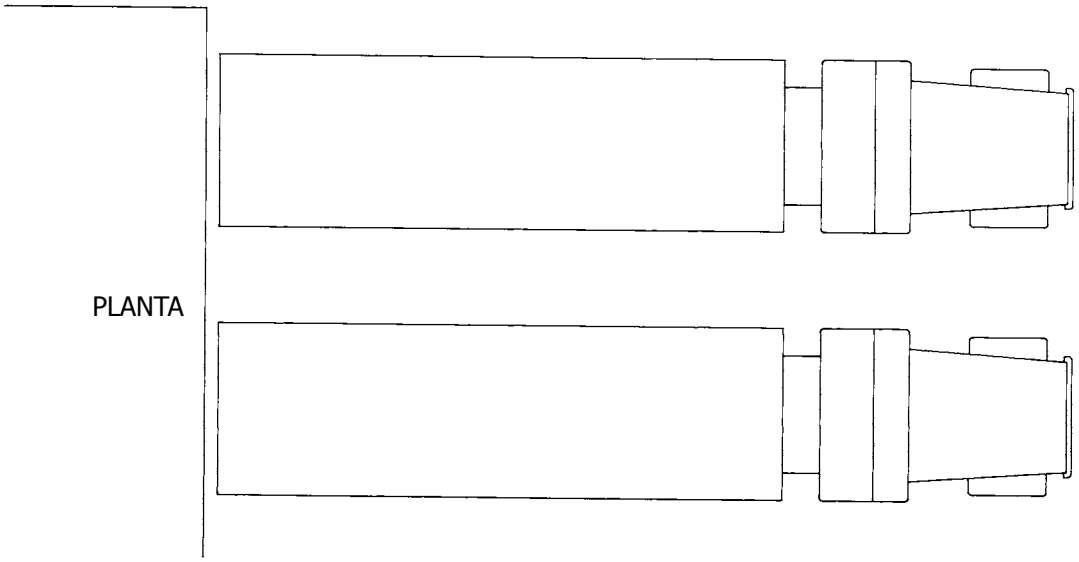


Figura 11-1b Plataforma de descarga —vista superior.

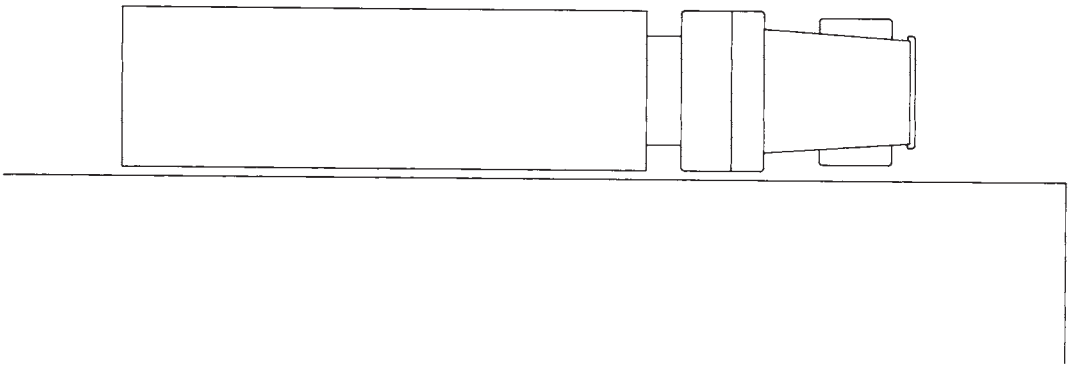


Figura 11-1c Plataforma de descarga —vista superior del servicio lateral.

plataforma, mientras que la 11-1c muestra la vista superior de una plataforma de servicio lateral. Estas figuras se ajustarían con facilidad a las ilustraciones de una vía férrea y un vagón.

Las plataformas en cuyo interior se conduce son similares a las de descarga, excepto porque cuando la puerta se abre, el camión retrocede hacia la planta y la puerta de ésta se cierra. Este tipo de plataforma es muy caro pero es útil con mal tiempo. Las plataformas interiores atienden a los vehículos tanto por el extremo posterior como por sus lados. Algunas plantas grandes cuentan con vías férreas laterales en las que los trenes acomodan sus vagones. Caterpillar Tractor Company lleva sus productos nuevos desde el piso de la planta directo a la plataforma de un vagón.

Las plataformas de paso directo consisten en un par de puertas a través de la planta. El camión llega a ésta, la puerta se abre, el camión (por lo general, de plataforma) se descarga o carga, la otra puerta se abre y el camión sale. En general, el piso del acceso y de la planta se encuentran al mismo nivel, por lo que el personal debe subir al camión para descargarlo. Es frecuente que se usen grúas de puente elevado para descargar plataformas muy pesadas de acero. Este tipo de plataforma entraña un riesgo mayor que los otros, pero escaleras con escalones apropiados y la capacitación de los operadores minimizará el peligro.

Las plataformas tipo dedos son extensiones de la planta y manejan muchos camiones a la vez. Un dedo de concreto de 10 a 15 pies de ancho se extiende 100 pies hacia fuera de un costado de la planta. Con esto, se estacionan 10 vehículos a ambos lados de la plataforma y sólo existe una o dos puertas que conectan el interior de la planta. La figura 11-2a ilustra una plataforma tipo dedo para 20 camiones. Es importante que la plataforma tenga una cubierta tipo cobertizo que la proteja del clima (vea la figura 11-2b).

Existen otros tipos de plataformas, unos buenos y otros malos, pero los cuatro tipos descritos representan más del 90 por ciento de los que son utilizados para camiones o vagones.

Equipo para plataformas

La puerta es parte de la plataforma (vea la figura 11-3a). Es común que la puerta de un camión (el extremo de servicio) mida 9 × 9 pies. La puerta se abre mediante dispositivos eléctricos o manualmente, hacia un contenedor montado por encima de ella. Alrededor de la puerta existe un sello de material compresible que separará al ambiente exterior del de la

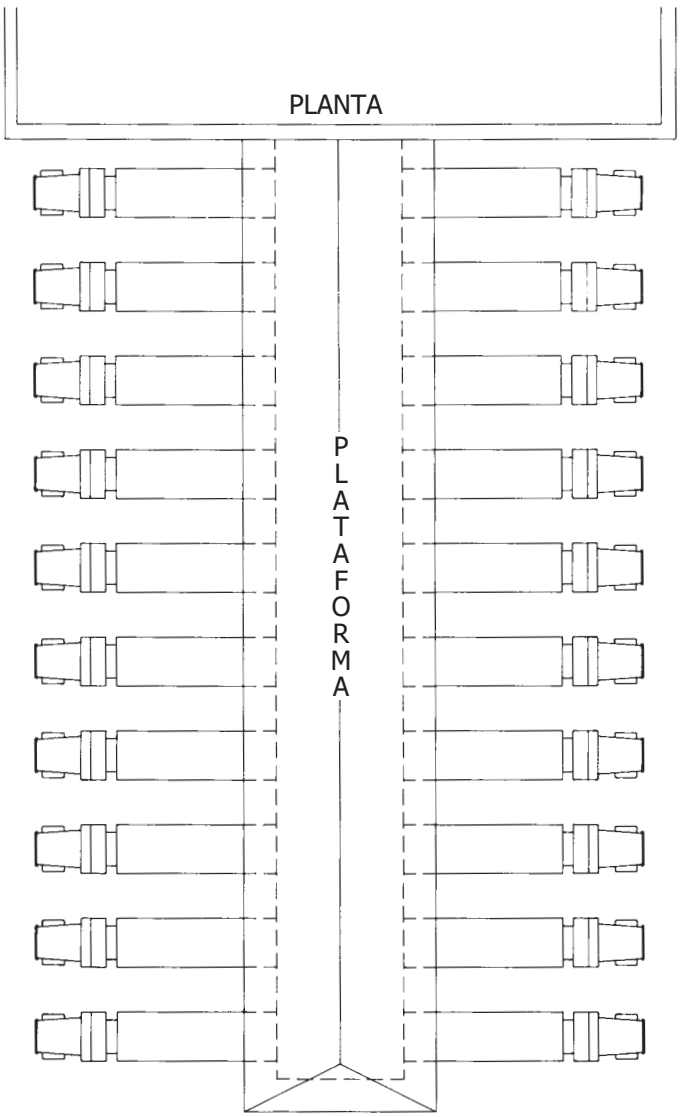


Figura 11-2a Plataforma tipo dedo —vista superior.

planta. Fuera de la puerta de la plataforma, por debajo del nivel de su piso, se colocan topes para detener el vehículo y protegerlo, así como al inmueble, de alguna colisión. Una vez que el camión está en posición y se abren sus puertas y las de la planta, se sitúa una plataforma entre los pisos de ambos para permitir la entrada y salida del vehículo. Es posible construir un nivelador automático para que la colocación de la plataforma sea automática, en el piso de la puerta.

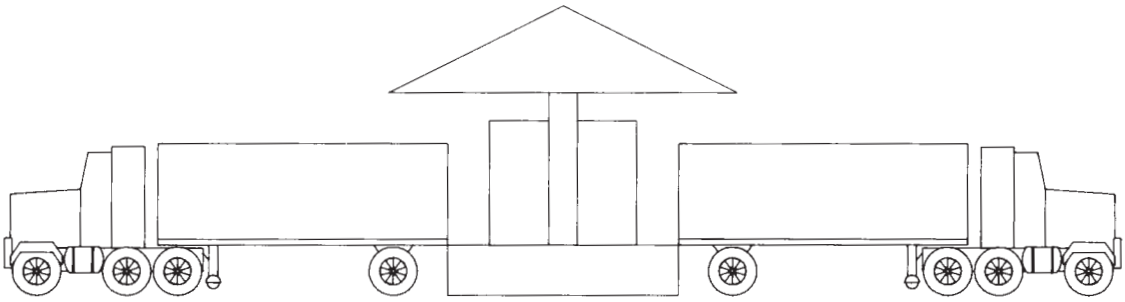


Figura 11-2b Plataforma tipo dedo —vista lateral.

Un toldo o porche que se extienda desde el muro de la planta y vaya por arriba hasta el extremo posterior del camión ayudará a que la lluvia y la nieve permanezcan en el exterior. A veces se colocan cortinas de aire y plástico en las puertas, con el fin de minimizar la pérdida de aire de la planta.

Con frecuencia se necesita iluminación adicional dentro de los camiones, por lo que son útiles las fuentes portátiles. La figura 11-3b muestra un conjunto de equipo para plataformas.

Equipo para mover

Carros de mano

Hoy día existen, literalmente, cientos de carros de mano distintos. A continuación se describen algunos de los más versátiles y populares:

1. *Carro de mano de dos ruedas* (vea la figura 11-4). Permite que una sola persona mueva hasta 500 libras. Se usan en casi todas las áreas del negocio, incluso en las oficinas.

2. *Gato de mano para plataforma o elevador hidráulico de camión para plataformas* (también se denominan, simplemente, gatos de mano vea la figura 11-5). Caminan sobre ruedas por debajo de una plataforma, se bombea con el mango (bomba hidráulica de mano), la plataforma se levanta sobre el piso unos cuantos centímetros y puede moverse fácilmente a mano con hasta 2,000 libras de material.

3. *Carros de mano de cuatro ruedas* (vea la figura 11-6, p. 316). Hay cientos de modelos, tamaños y usos de los carros de mano. Se puede construir cualquier patrón en las plataformas y mover material muy especial. En la figura 11-6 se presentan ejemplos muy versátiles. Se cargan y se mueven muchas cosas a casi cualquier parte.

4. *Plataformas* (vea las figuras 11-7 y 11-8, p. 317). Como se dijo en el capítulo 10, la plataforma es una pieza importante del equipo para manejar materiales.

Montacargas

Los montacargas son con mucho el elemento más popular del equipo de manejo de materiales para descargar y cargar camiones y vagones (vea las figuras 11-9a a 11-9c, pp. 318 y 319). Todos los departamentos de la planta pueden usarlos, pero es probable que se trate del equipo peor utilizado en ella. En la mayoría de casos, es demasiado equipo para mover

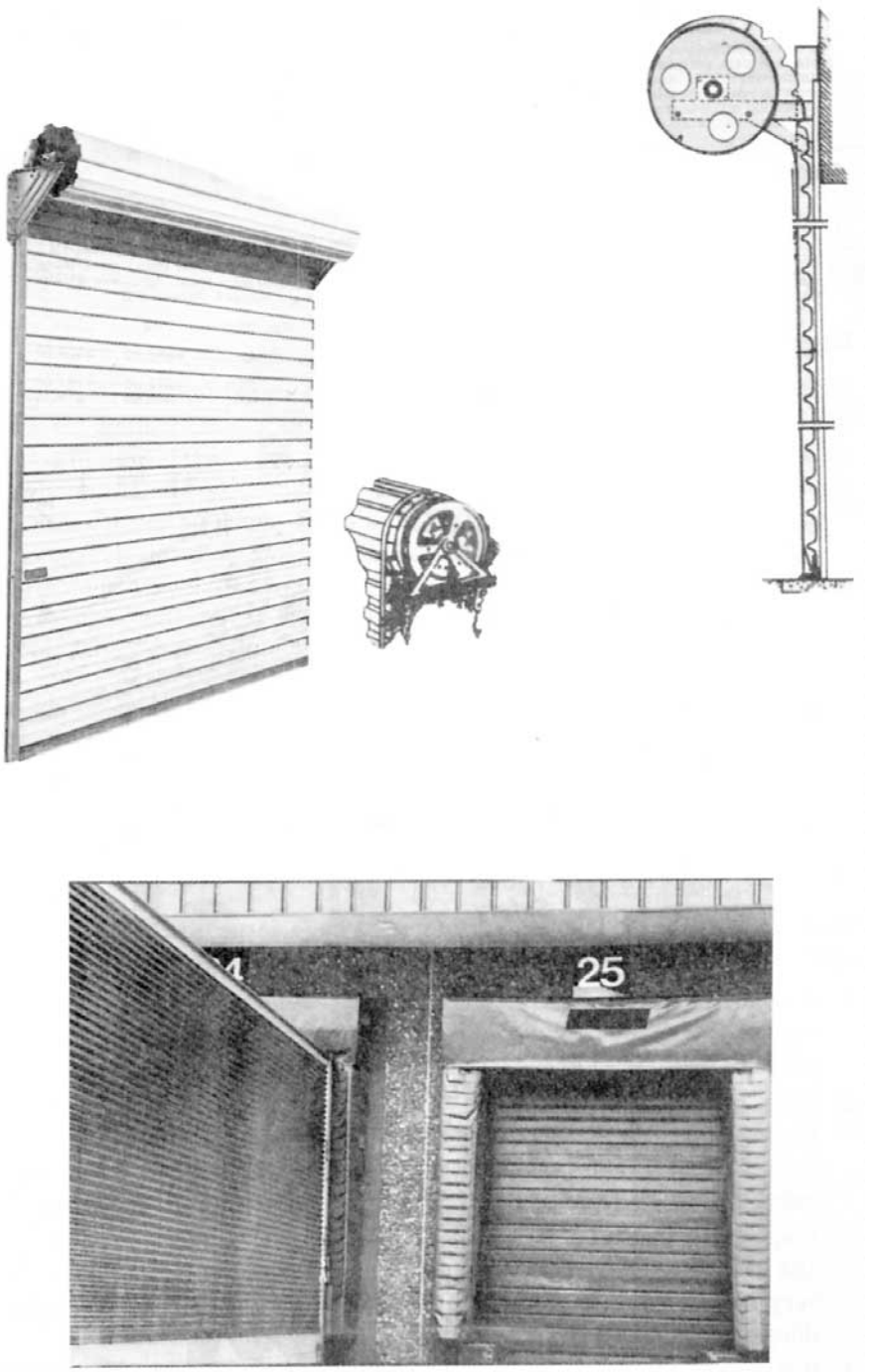


Figura 11-3a Equipo para plataformas (cortesía de Global Equipment Co.).

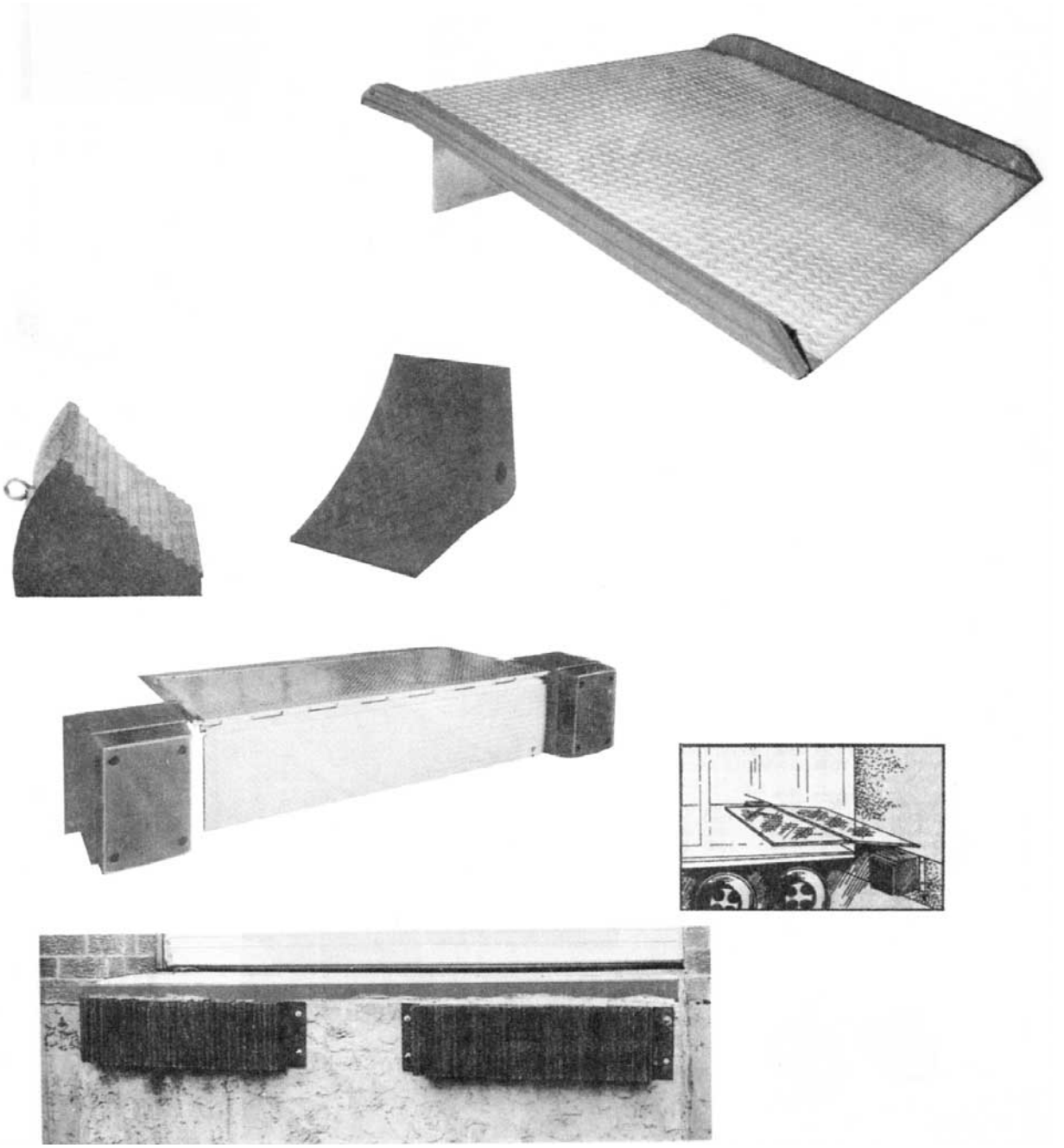


Figura 11-3b Equipo para plataformas (cortesía de Global Equipment Co.).

Figura 11-4 Carros de mano de dos ruedas (cortesía de Global Equipment Co.).

Figura 11-5 Gatos de mano para plataformas (cortesía de Monroe Equipment, Co.).

Figura 11-6 Carros de mano de cuatro ruedas (cortesía de Global Equipment Co.).

muy poco peso, casi siempre hay una mejor elección. Los montacargas tienen una cualidad que los redime por sí solos: su versatilidad. Van donde sea y mueven cualquier cosa. En la sección de almacenes de este capítulo, se hablará de vehículos para pasillos estrechos que giran en un radio muy corto.

Se dispone de aditamentos para los montacargas, con el fin de que realicen trabajos más específicos. Los montacargas estándar no son apropiados para mover rollos de papel o tela, bidones, basura, ni muchas otras partes o contenedores, pero existen aditamentos que crean un dispositivo único de elevación y movimiento. En la marina se usan montacargas extendidos para colocar botes de motor en un armazón de almacenamiento. Por medio de un elemento especial es posible verter aceite, pintura, desechos y otras partes. En la figura 11-9d (p. 319) se aprecian algunos aditamentos para montacargas.

Equipo de propósitos múltiples

En un intento de estandarizar el equipo de manejo de materiales, debe prestarse atención especial a los diferentes equipos de propósitos múltiples. La figura 11-10a (p. 320) muestra un sistema elevador universal. En las áreas de recepción y envío, este sistema de manejo de materiales auxilia para cargar y descargar camiones y subir plataformas, cajas y otro tipo de contenedores. Es capaz de llegar a lugares altos y de acceso difícil, subir o bajar cargas muy por debajo del nivel del piso, y realizar distintas actividades. El mismo equipo puede ser muy

Figura 11-7 Plataformas en un armazón (cortesía de Global Equipment Co.).

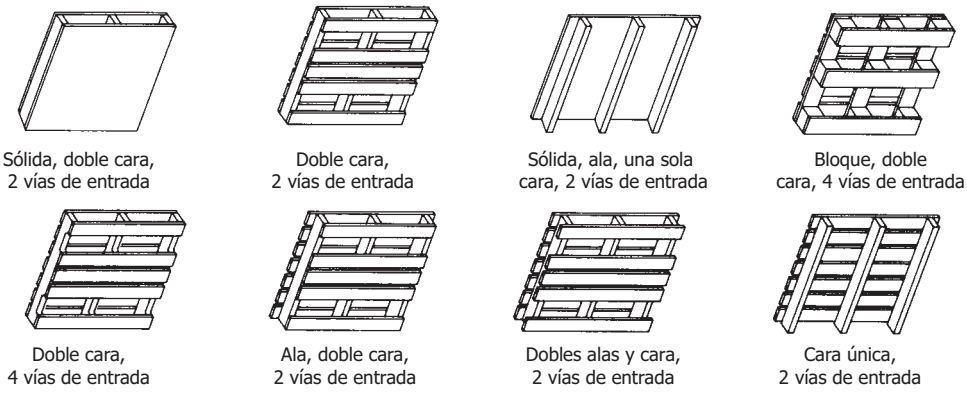


Figura 11-8 Plataformas.

útil en el piso de la fábrica. Simplifica el manejo de dados y moldes, manipula rollos grandes y desenrolla láminas metálicas. La figura 11-10b (p. 321) muestra distintas funciones que se llevan a cabo con un sistema elevador universal.

Figura 11-9a Montacargas industriales (cortesía de Yale Materials Handling Corp.).

Las *grúas de puente* (vea las figuras 11-11a y 11-11b, pp. 323 y 324) se llaman así porque cruzan un vacío (de pared a pared). Se colocan columnas a intervalos, por ejemplo a 40×60 pies. El claro sería de 60 pies. Sobre las columnas se montan dos rieles (como si fueran una vía grande de tren) que recorren todo el claro, aún de 60 pies. Después, el puente corre sobre ruedas que van por las vías. Se coloca sobre el puente un motor para elevar, que va y viene. La grúa se opera desde el piso o, en las unidades más grandes, el operador sube a una cabina que está sobre el puente.

Las grúas de puente levantan y mueven cargas muy pesadas, 100,000 libras o más. Con ellas se movilizan acero, barras del inventario, subensambles mayores y otros objetos parecidos.

Figura 11-9b Montacargas (cortesía de Crown Equipment Corp.).

Figura 11-9c Montacargas (cortesía de Yale Materials Handling Corp.).

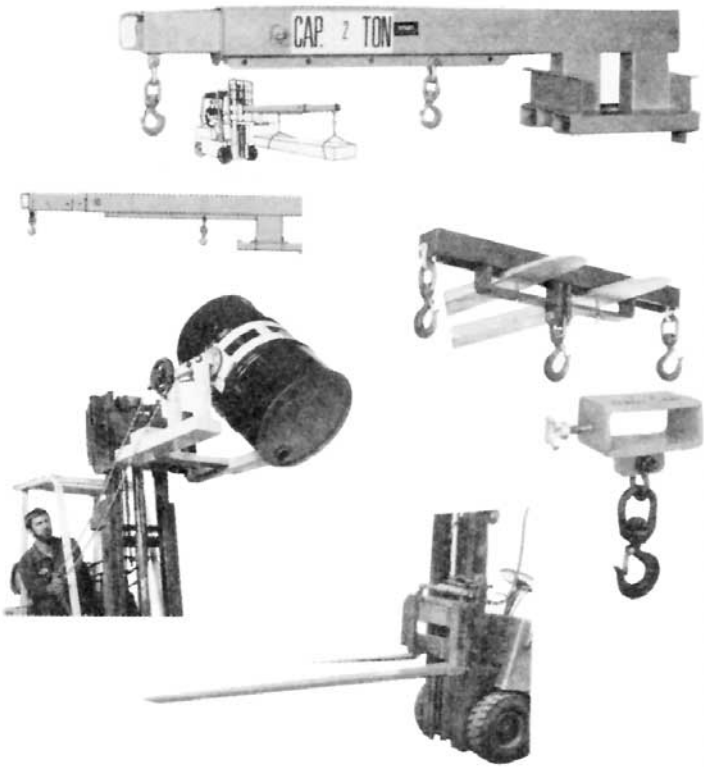


Figura 11-9d Aditamentos para montacargas, se usan para manipular materiales (cortesía de Global Equipment Co.).

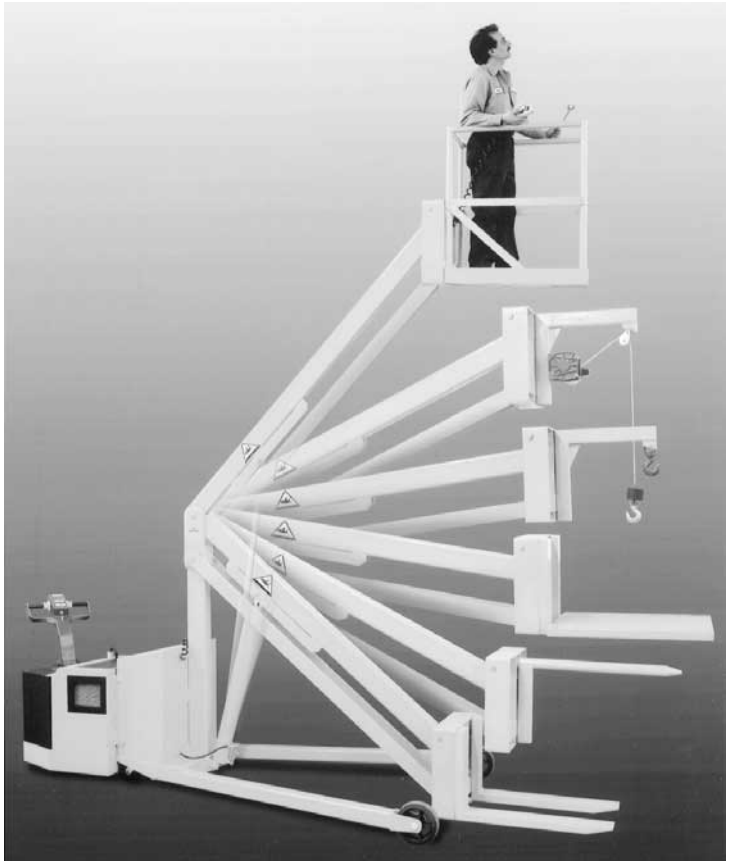


Figura 11-10a Sistema elevador universal (cortesía de Air Technical Industries).

Las grúas de puente que se montan sobre la pared de un lado y un extremo sobre el otro se llama *grúas de castillo único*. Para uso en el exterior, ambos extremos se unen a columnas; una de éstas se llama *grúa de doble castillo*. Los buques cargueros utilizan grúas de doble castillo muy grandes (vea la figura 11-11c, p. 324).

Transportador telescópico

Los transportadores telescópicos tienen varias secciones que se extienden según sea necesario (vea la figura 11-12, p. 325). Cuando de un camión se descargan cajas pequeñas, las primeras se encuentran cerca de la puerta, pero conforme avanza el trabajo quedan más lejos de ella cada vez. En este caso se lleva un transportador telescópico al interior de la caja del camión según lo requiera la labor. Los transportadores telescópicos ahorran mucha

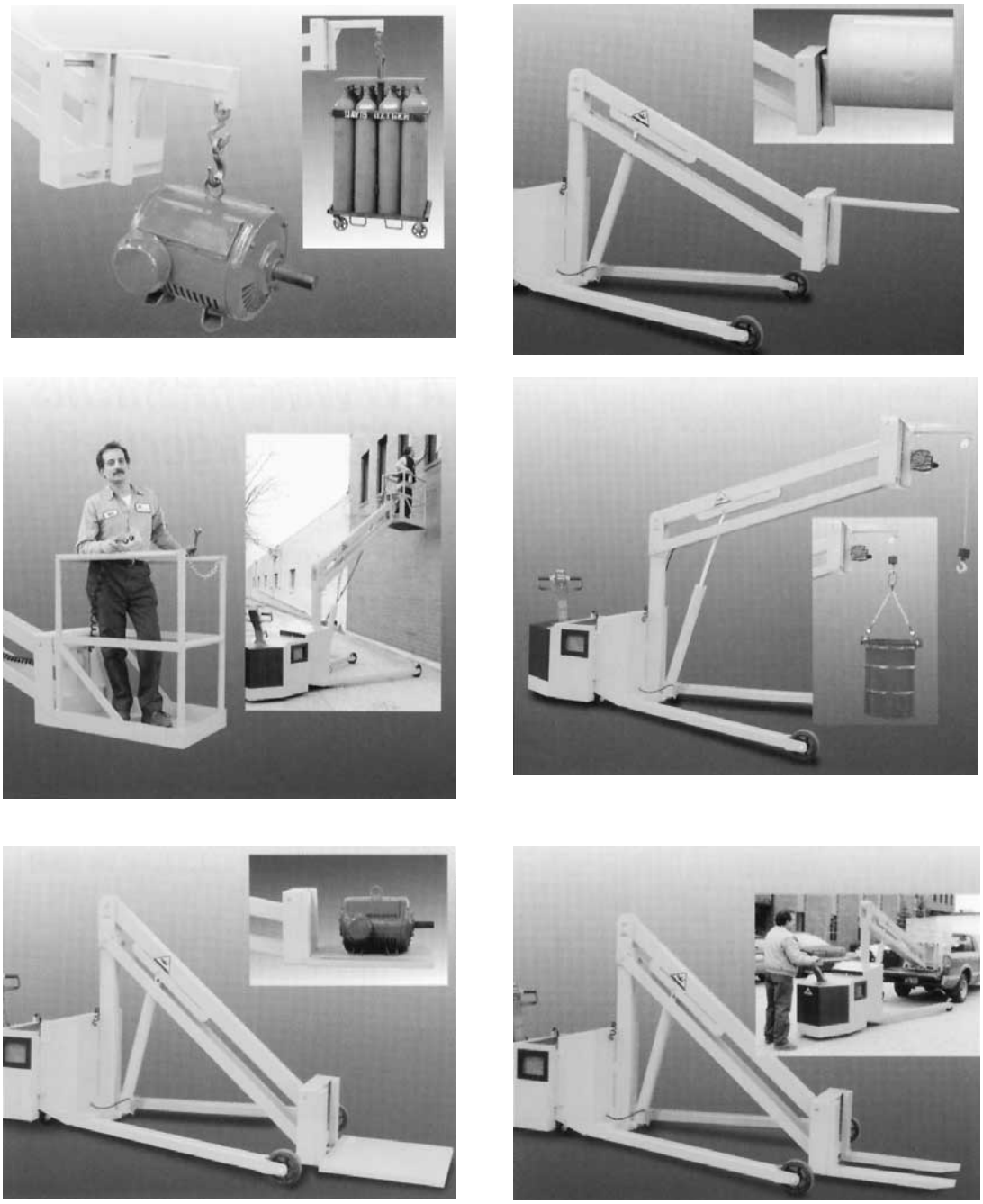
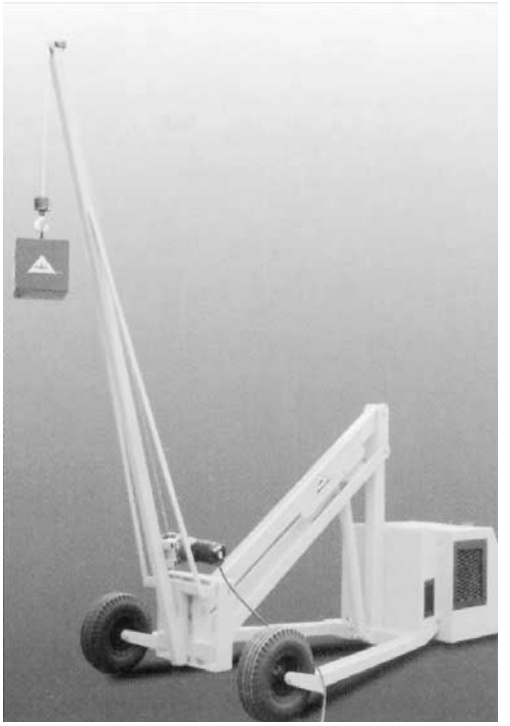


Figura 11-10b Sistema elevador universal durante la ejecución de distintas tareas (cortesía de Air Technical Industries).



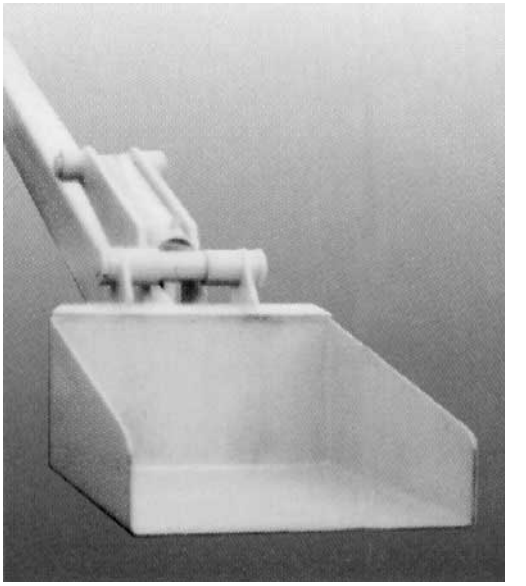


Figura 11-10b (continuación) Sistema elevador universal durante la ejecución de distintas tareas (cortesía de Air Technical Industries).

distancia de recorrido. Los almacenes Sears reciben gran parte de sus artículos por medio de transportadores telescópicos. Éstos se conectan con otros transportadores planos, que se estudiarán en la sección del departamento de ensamblado de este capítulo, ya que el transportador describe casi por sí solo el manejo del material de ensamblado.

Básculas

Las básculas son herramientas valiosas en la recepción y el envío; se integran al sistema de manejo de materiales (vea las figuras 11-13a y 11-3b, p. 326). En las plataformas de recepción, las básculas se utilizan para contar el material que llega. Aquéllas sobre las que puede conducirse un vehículo se emplean para que los montacargas coloquen una plataforma con material en ella, con el fin de pesarlo de manera automática. Las básculas ayudan en el control de calidad del conteo de la recepción y el envío.

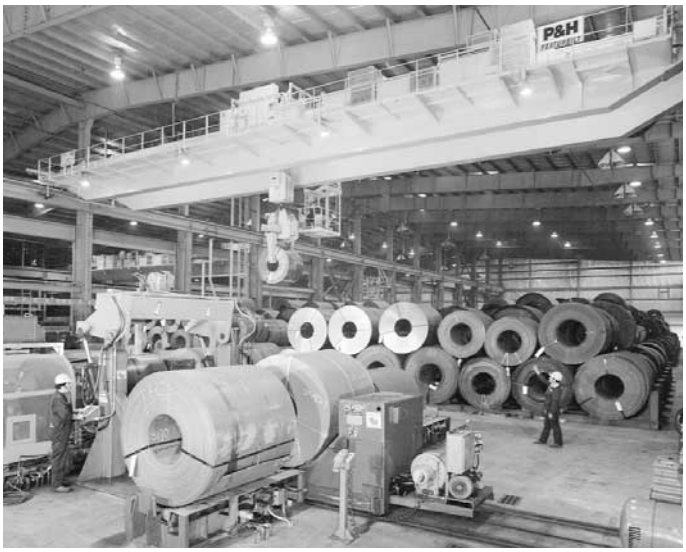


Figura 11-11a Grúa puente.

Sistemas requeridos en las plataformas de recepción y envío

Los sistemas en las plataformas para recibir y enviar deben incluir lo siguiente:

1. Sistema de numeración de partes que permitan identificarlas con fines de inventario.
2. Sistema de órdenes de compra que autorice la recepción del material (vea la figura 12-12 en el capítulo siguiente).
3. Sistema de órdenes de los consumidores, que autorice el envío del material.
4. Cuenta que autorice que una compañía mueva el material y facture sus servicios.

ALMACENES

El término "almacén" se usa para denotar la habitación donde se guardan los materiales y los suministros hasta que son necesitados por el departamento de operaciones. Generalmente, los almacenes de materias primas son los más grandes, pero los de mantenimiento y suministros de oficina llegan a ser de igual tamaño. El equipo para manejar materiales en las áreas de almacenes tiende a ser muy caro.

Unidades de almacenamiento

Éstas incluyen lo siguiente:

1. *Anaqueles* para guardar partes pequeñas. Una unidad común de anaqueles se asemeja a un librero con seis entrepaños de $1 \times 1 \times 3$ pies, uno sobre otro (vea la figura 11-14a, p. 326).

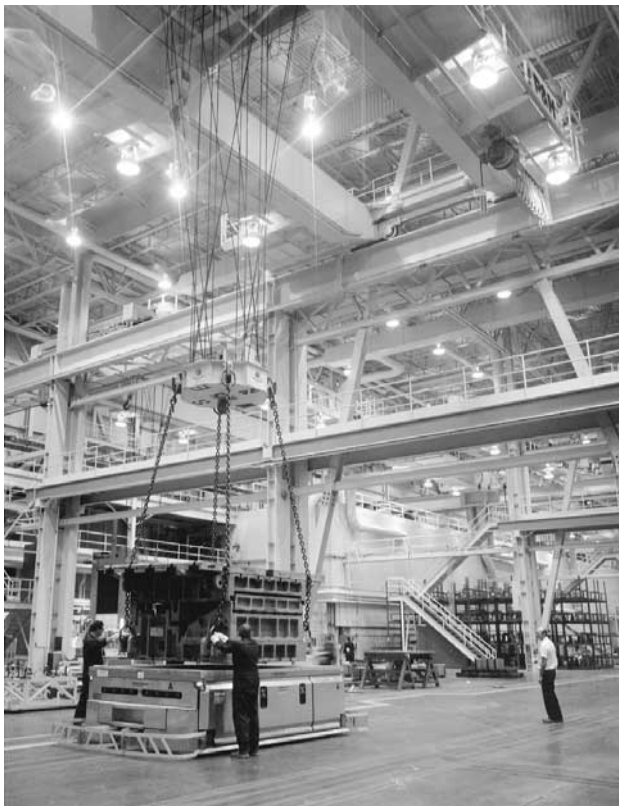


Figura 11-11b Grúa puente (cortesía de Harnischfeger Corporation, Manufacturers of Overhead Lifting Equipment).

Figura 11-11c Grúa de doble castillo, con marco en A (cortesía de Air Technical Industries).

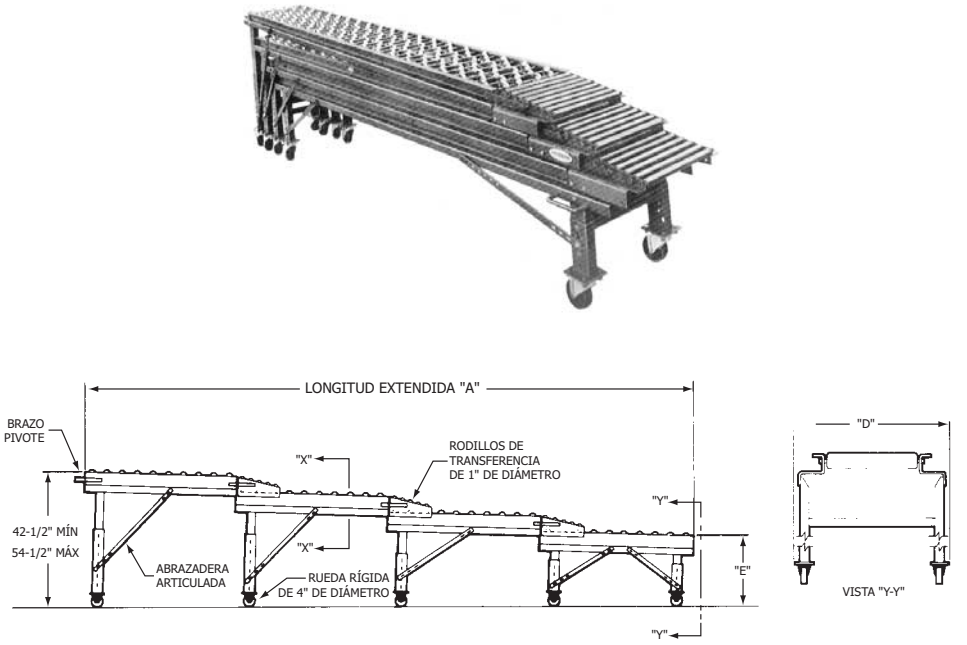


Figura 11-12 Transportador telescópico (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

2. Los *armazones*, por lo general, se usan para guardar material que está sobre plataformas, con todo y éstas. Un armazón de plataformas común tiene 9 pies de ancho con cinco entrepaños que lo hacen alcanzar una altura de 22 pies. Con dos plataformas por entrepaño, cinco entrepaños equivalen a 10 plataformas por armazón (vea la figura 11-14b, p. 327).

3. Los *armazones de doble profundidad para plataformas* son aquellos que permiten apilar 20 plataformas en ambos lados del pasillo, en lugar de sólo 10. La densidad de almacenamiento es mucho mejor, y la utilización del cubo del inmueble también (vea la figura 11-14c, p. 328).

4. Los *armazones portátiles* son los que se colocan sobre una plataforma de carga de material suave. Luego se sitúa otra plataforma sobre este armazón portátil. Las alturas son mucho mayores sin el peligro de que una pila se caiga (vea la figura 11-14d, p. 329).

5. Los *mezzanines* se construyen sobre áreas de anaqueles para usar el espacio sobre ellas. Los anaqueles adicionales se ubican sobre el *mezzanine*, lo que duplica su número en el área de almacenamiento. El inventario de circulación lenta se localiza en los *mezzanines* (vea la figura 11-14e, p. 330).

6. Los *anaqueles rodantes* permiten que tal vez haya 10 hileras de ellos en un solo pasillo. Esto ahorraría 9 de ellos. Los anaqueles están sobre ruedas y es posible moverlos para abrir un pasillo donde no lo hay. Los anaqueles rodantes son populares en los almacenes de mantenimiento y suministros de oficina (vea la figura 11-14f, p. 330).

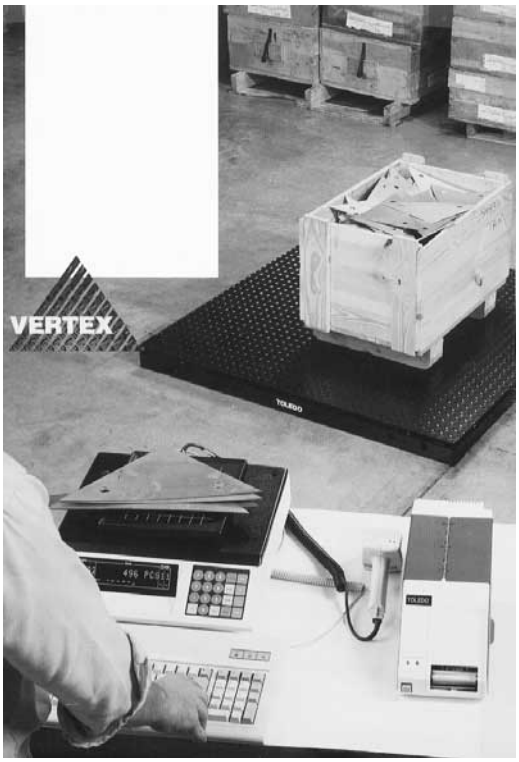


Figura 11-13a Báscula (cortesía de Toledo Scales).

Figura 11-13b Báscula de perfil bajo (cortesía de Global Equipment Co.).

Figura 11-14a Básculas industriales (cortesía de Yale Industrial Trucks).

Figura 11-14b Armazones de plataformas (cortesía de Global Industrial Equipment).

7. Las *unidades de almacenamiento de cajones* son populares debido a que almacenan muchas partes pequeñas en un área chica. Una cajonera tiene de 32 a 64 ubicaciones de almacenamiento, y una unidad de 6 cajones llega a contener cerca de 1,000 partes diferentes (vea la figura 11-14g, p. 331).

Equipo móvil para almacenes

Los vehículos que llegan a pasillos estrechos son una de las mejores elecciones para maniobrar en las áreas de almacenamiento. Son capaces de girar en lugares pequeños y el operador permanece de pie. Ambas características incrementan la productividad de los recursos de la empresa.

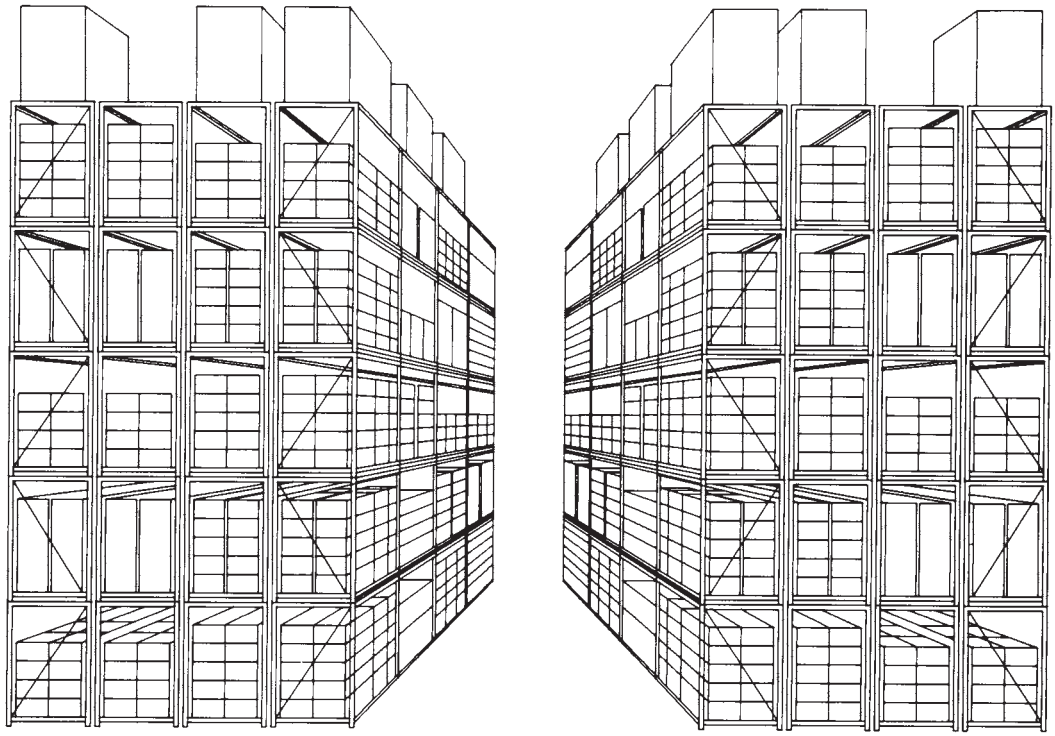


Figura 11-14c Armazones de doble profundidad para plataformas (cortesía de Ridge Rak, Inc.).

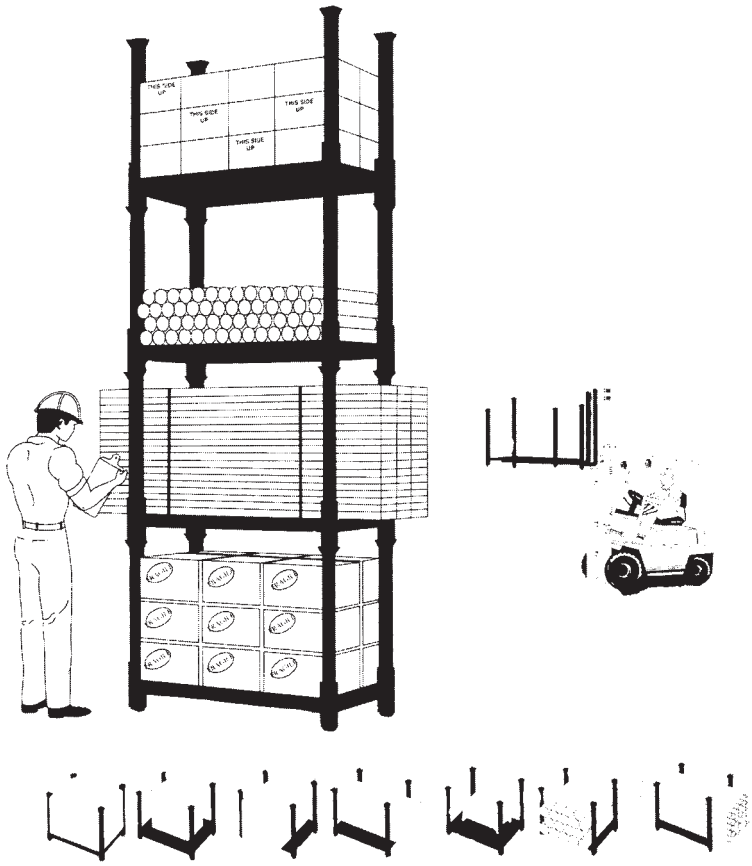


Figura 11-14d Armazón portátil (cortesía de Dura Products).

1. Los pasillos estrechos ahorran espacio.
2. Que el operador esté de pie ahorra tiempo y hace que la salida del vehículo sea muy fácil. Los conductores de montacargas se sientan a una altura de 3 a 4 pies. Una vez que se acomodan ya no bajan, a menos que sea para almorzar o descansar.

Hay varios tipos de vehículos para pasillos angostos:

1. *Carro de alcance.* Un carro de alcance (vehículo para alcanzar en pasillos estrechos) tiene un aditamento parecido a unas tenazas, lo cual le permite extenderse más de 4 pies (vea la figura 11-15, p. 332). Esto hace posible que el operador apile dos plataformas a la vez en un armazón de 8 plataformas de profundidad. Una profundidad de dos plataformas ahorrará cerca del 50 por ciento del espacio de pasillo.

2. *Carro de tijeras.* El nombre proviene de la capacidad del vehículo para aprisionar una plataforma con un soporte frontal sobre el piso, a ambos lados de ella (vea la figura 11-16, p. 332). Esto hace que tenga más estabilidad y la capacidad de levantar cargas más pesadas con vehículos más ligeros.

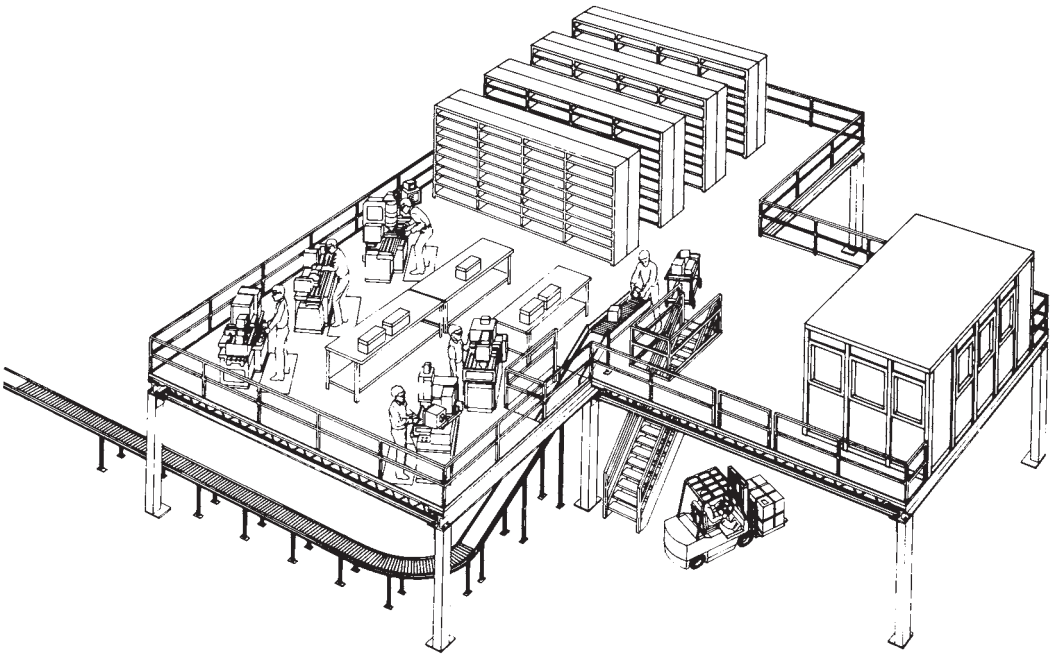


Figura 11-14e Mezzanines (cortesía de W. A. Schmidt, Inc.).

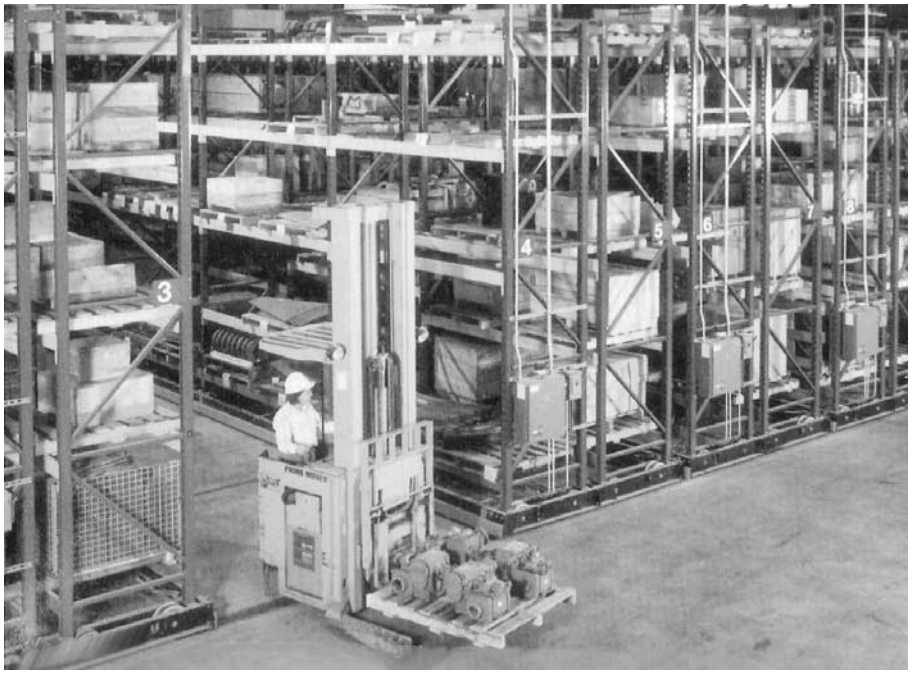


Figura 11-14f Anaqueles rodantes (cortesía de Acme Visible Records).

Figura 11-14g Almacenamiento de cajones (cortesía de Global Equipment Co.).

3. *Carros elevadores de cambio lateral.* Éstos constituyen el equipo móvil que ahorra más espacio en los pasillos angostos de los almacenes (vea la figura 11-17). Existen muchos tamaños y formas diferentes de este tipo de carros, pero es uno de los más útiles por sus características únicas que permiten manejar barras de 10 a 20 pies de largo. ¿De qué otro modo podrían moverse piezas muy largas? El inventario de este tipo de barras se guarda en un armazón con puente de contrapeso (*cantilever.*)

4. *Carros de mantenimiento.* Son casi únicos para el personal de mantenimiento (vea la figura 11-18). Hay carros portátiles para aceite y grasas, para soldar, cajas de herramientas y mesas de trabajo. El propósito y objetivo de los carros de mantenimiento es eliminar la necesidad de ir y venir al departamento de mantenimiento porque algo se hubiera olvidado. El carro es un almacén pequeño de mantenimiento.

5. *Dollies* y *rueditas.* Mover equipos es un trabajo común en el mantenimiento. Los *dollies* se colocan bajo el objeto por mover para hacerlo más rápido (vea la figura 11-19, p. 334). Por ejemplo, para mover un escritorio se usaría un *dolly* que semeja una plataforma con ruedas.

6. *Jaula para las herramientas de mantenimiento.* Se usa para salvaguardar las herramientas y los suministros del mantenimiento (vea la figura 11-20, p. 334).

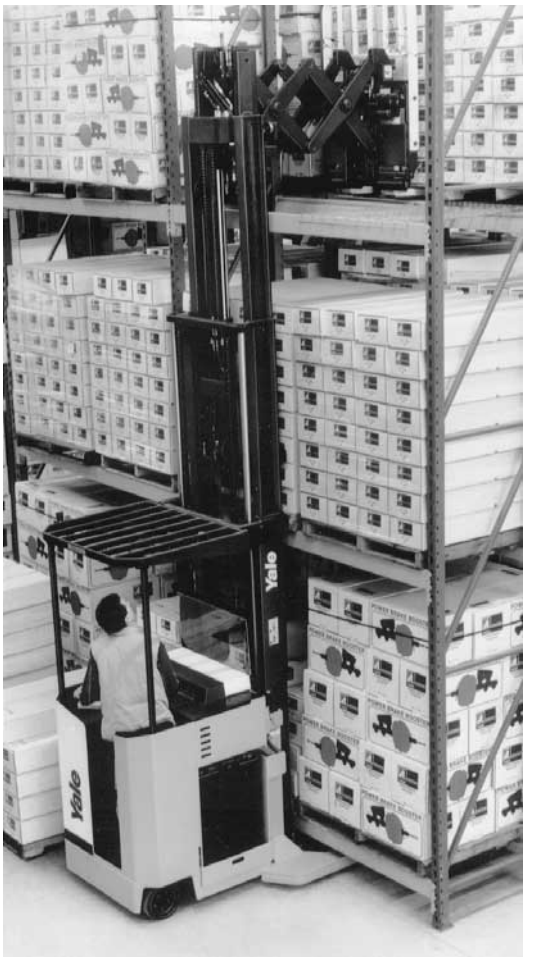


Figura 11-15 Carro de alcance (cortesía de Yale Materials Handling Corp.).

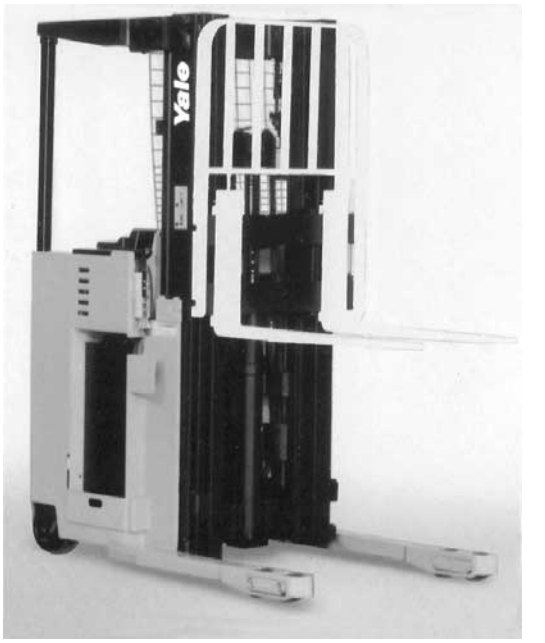


Figura 11-16 Carro de tijeras (cortesía de Yale Materials Handling Corp.).

7. *Sistema de almacenamiento y recuperación en carrusel.* Imagine el sistema de transportador de una lavandería (vea la figura 11-21). Cuando alguien va a recoger una prenda, el empleado oprime un botón y un transportador mueve toda la ropa hasta que llega la que busca. En un almacén de partes puede disponerse del mismo sistema eficiente por medio de un transportador de carrusel. Cada contenedor se numera y al sacar algo se registra, así como el número de contenedor en que estaba. Cuando es necesario, se busca el número de parte y el de localización. Se oprime el botón y la parte viene a usted. La fotografía de la figura 11-21 muestra un transportador horizontal de carrusel, mientras que la de la 11-22 ilustra un sistema de ruedas vertical.

Figura 11-17 Carro elevador lateral (cortesía de Crown Equipment Co.).

Figura 11-18 Carro de mantenimiento (cortesía de Global Equipment Co.).

Sistemas requeridos para el departamento de almacenes

Sistema de localización

Como se dijo en el capítulo 8, toda ubicación tiene una dirección y el personal de la bodega debe saber cómo llegar a cualquiera de ellas sin que necesite tiempo para pensarlo.

Sistema de agrupar

Agrupar es el proceso de tener juntos 1,000 grupos de partes (el suministro de un día) para la producción de mañana (vea la figura 11-23, p. 336). Este inventario se toma del alma-

Figura 11-19 Dollies y rueditas (cortesía de Global Equipment Co.).

Figura 11-20 Jaula para las herramientas de mantenimiento (cortesía de Global Equipment Co.).

cén y se coloca en plataformas o carros para llevarlo a la línea de ensamble y trabajar al siguiente día. El agrupamiento requiere espacio para guardar el material y el equipo para llevarlo del almacén a producción. El sistema de agrupamiento es importante porque tener el inventario de un día completo en la línea de ensamble significa que no habrá faltantes. Si algo se hubiera perdido en la bodega, se tendrían de 16 a 24 horas para resolver el problema.

Figura 11-21 Transportador en carrusel (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

Figura 11-22 Sistema de almacenamiento y recuperación en carrusel vertical (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

Sistema de control de inventarios

El sistema de control de inventarios controla el almacén. Su función es mantener el nivel apropiado de inventario. Al almacén debe dársele el tamaño adecuado para mantener dicho inventario. El movimiento de entrada y salida del material del almacén debe reportarse e introducirse al sistema de control de inventarios.

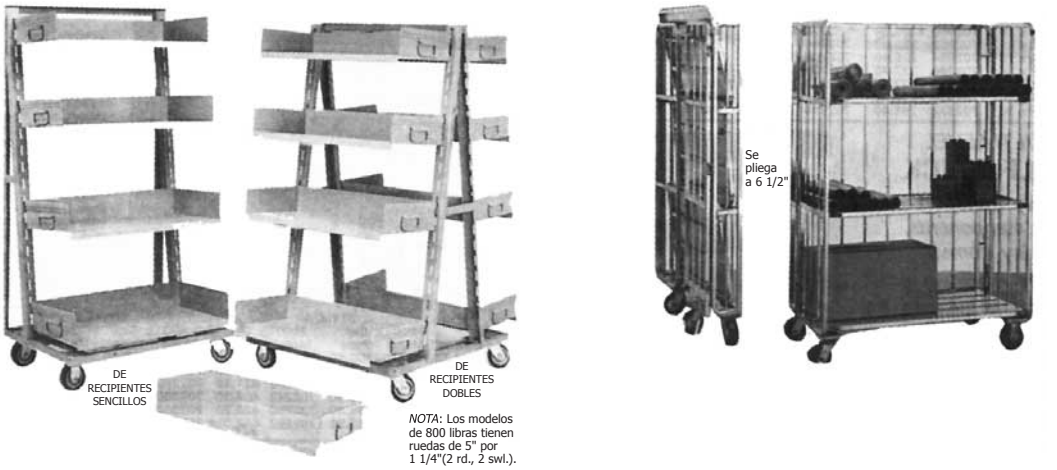


Figura 11-23 Carros para agrupar (cortesía de Global Equipment Co.).

FABRICACIÓN

El departamento de fabricación es el que produce las partes para las líneas de ensamble o empaque. La fabricación comienza con la materia prima y finaliza con las partes terminadas. Los implementos para manejar materiales incluyen contenedores, dispositivos manipuladores de la estación de manufactura y equipo móvil.

Contenedores de piezas

Se usan para mover las partes en cargas unitarias (vea la figura 11-24). Las placas o rollos grandes de acero se cortan en trozos más pequeños. Éstos se colocan en contenedores o cajas hechas de cartón, plástico o acero, y se llevan a la segunda operación (vea la figura 11-25). Es frecuente que los contenedores de piezas se apilen en plataformas que se llevan a la máquina que sigue y se colocan en la siguiente. Las máquinas se abastecen por medio de un dispositivo que mantiene los contenedores en el ángulo y la posición correctos. Debido a que los contenedores de piezas se usan una y otra vez, deben ser durables, apilables y portátiles.

Tinas y cestas

Las tinas y cestas son contenedores más grandes para las piezas (vea la figura 11-26). Por lo general, miden 4 pies × 4 pies × 42 pulgadas. Es frecuente que las piezas del fondo sean difíciles de recuperar (y que esto lleve tiempo). Por tal razón, generalmente, se dispone de tinas y cestas de varios tipos especiales.

Figura 11-24 Contenedores de piezas en el área de fabricación (cortesía de Streator Dependable Mfg.).

Figura 11-25 Contenedores de piezas (cortesía de Global Equipment Co.).

Figura 11-26 Tinas y cestas (cortesía de Steel King Industrial Containers).

Cestas de caída por el fondo

Un armazón especial mantiene a la cesta sobre un plano inclinado (vea la figura 11-27). Una vez sobre el armazón, se abate la parte inferior del frente y las partes caen desde el fondo de la cesta, la cual se encuentra a una altura de trabajo apropiada para el operador.

Cestas o tinas de caída lateral

No son tan buenas como las de caída por el fondo, pero son menos costosas (vea la figura 11-28).

Sostenes inclinados

Éstos mantienen las cestas y las tinas comunes en cierto ángulo, con el fin de que la recuperación de las partes sea más fácil (vea las figuras 11-29 y 11-30).

Sostenes en V

Los sostenes en V se usan para tener cajas pequeñas a un nivel de trabajo con ángulo de 45°, con objeto de tener acceso fácil a las partes (vea la figura 11-31).

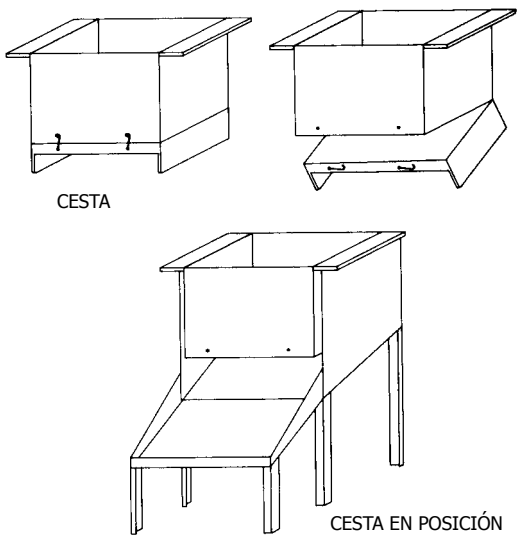


Figura 11-27 Cesta de caída por el fondo.

Figura 11-28 Cesta de caída lateral (cortesía de Steel King Industrial Containers).

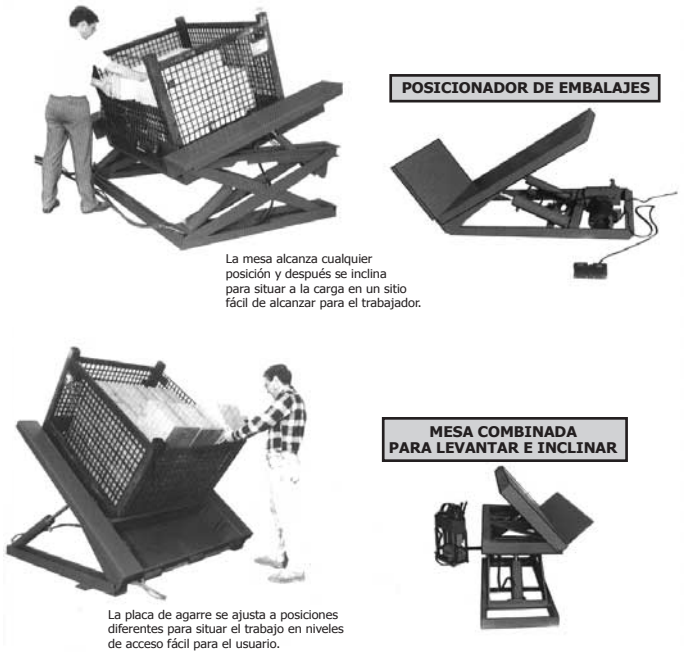


Figura 11-29 Mesas y sostenes inclinados (cortesía de Air Technical Industries).

Elevadores de tijera o hidráulicos

Un elevador de tijera levantará una plataforma de material para situarlo a una altura cómoda (vea la figura 11-32).

Tolvas vertedoras

Las tolvas vertedoras hacen que el manejo del material en una estación de manufactura se realice casi sin esfuerzo (vea la figura 11-33). Las tolvas vertedoras pondrán en posición una tina o cesta de partes, la levantarán y vaciarán a un ángulo de 120º, lo que llevará a aquéllas por una rampa para colocarlas en el punto en que se necesitan. Son muy eficientes.

Dispositivos de la estación de manufactura para manejo de materiales

Contrapesos

Los contrapesos mantienen las herramientas en una posición alta, donde se requiere, y casi eliminan su peso (vea las figuras 11-34a y 11-34b). Constituyen un elemento para manejar materiales que elimina el trabajo físico de la labor.

Figura 11-30 Sostén inclinado (cortesía de Streator Dependable Mfg.).

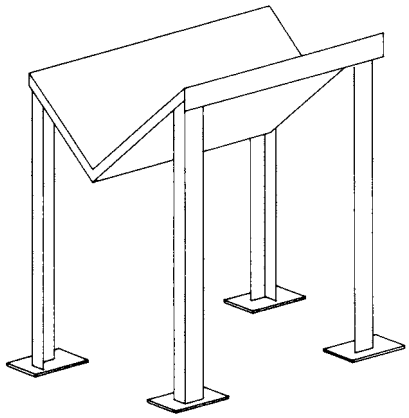


Figura 11-31 Sostén en V.

Figura 11-32 Elevador de tijera (cortesía de W.W. Monroe Equipment Co.).

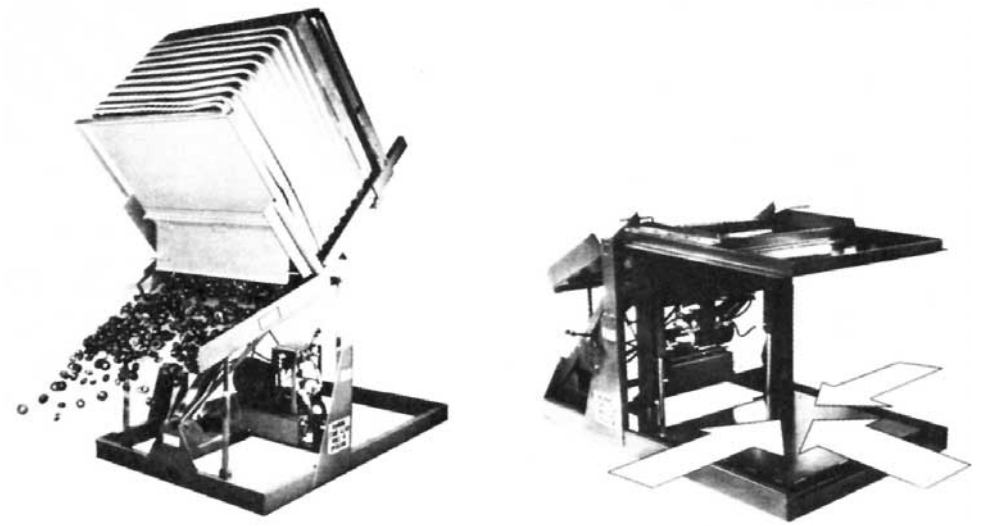


Figura 11-33 Tolvas vertedoras (cortesía de Wilde Mfg., Inc.).

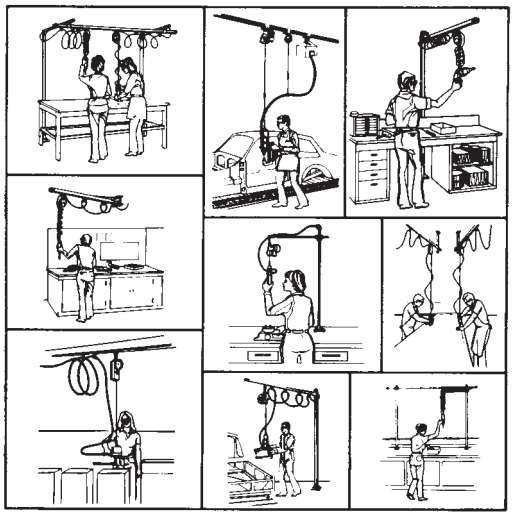


Figura 11-34a Contrapesos (cortesía de Aero-Motive Mfg. Co.).

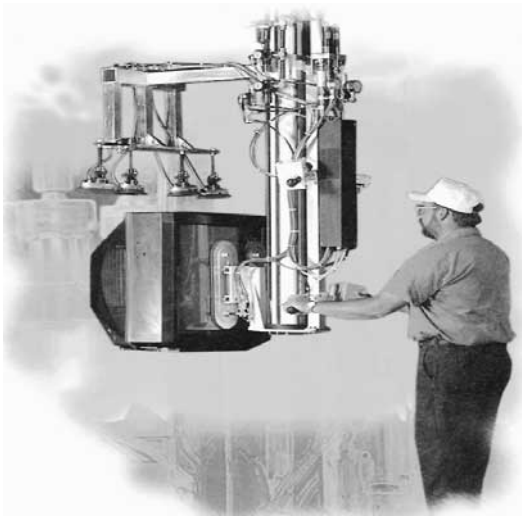
Figura 11-34b Contrapeso (cortesía de Flex Arm).

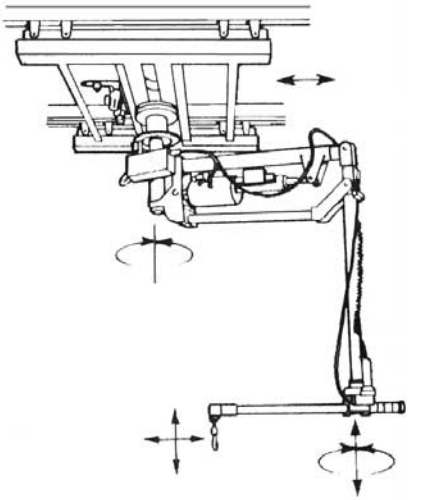
Dispositivos manipuladores y elevadores

Los manipuladores son dispositivos de posicionamiento casi con la flexibilidad y la destreza de los humanos, pero con fuerza sobrehumana. Los manipuladores están diseñados especialmente para ejecutar tareas de elevación, rotación, vaciado, giros y posicionamiento, que exceden por mucho las capacidades humanas. Los manipuladores manuales, hidráulicos o neumáticos se instalan en una base estacionaria o portátil, y se utilizan para realizar tareas distintas que mejoran la productividad y la seguridad del trabajador (vea la figura 11-34c). El dispositivo elevador que se muestra en la figura 11-34d ayuda al operador a levantar partes y componentes pesados, así como a servir de manipulador que pone a la parte en posición.

Alimentadores vibratorios

Los alimentadores vibratorios orientan, cuentan y presentan una parte al operador siguiente (vea la figura 11-35, p. 346). Muchas máquinas tienen alimentadores de partes que las cargan en forma automática. Un fabricante de juguetes necesitaba colocar cuatro millones de llantas pequeñas en ejes. Dispuso dos alimentadores vibratorios (uno para las llantas y otro para los ejes), y dos ruedas tomaban una parte de cada uno de los alimentadores y presionaban la llanta sobre el eje de manera automática. El fabricante de estuches de dados instaló 20 alimentadores vibratorios para ensamblar bolsas de partes. Cada alimentador estaba conectado a un panel de control en el que se introducía el número de partes requerido. Los 20 alimentadores contaban sus partes y se detenían. Cuando los 20 se habían parado, se abrían las tolvas y las partes caían en una cubeta sobre el transportador. Éste avanzaba un alimentador y los alimentadores comenzaban de nuevo. Las bolsas se formaban, empacaban y pesaban en forma automática.





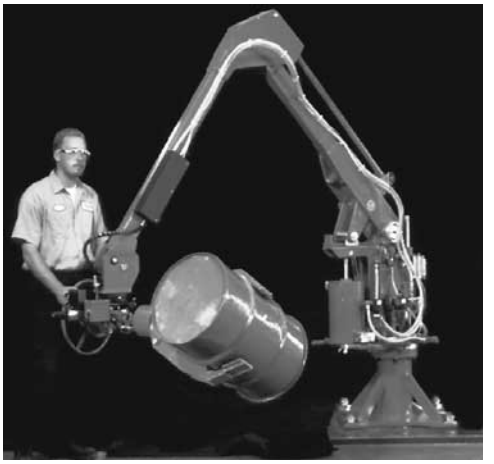


Figura 11-34c Manipuladores en funcionamiento (cortesía de Positech, división de Columbus McKinnon Corporation).

Figura 11-34d Dispositivos elevadores en acción (cortesía de Palamatic Handling Systems).

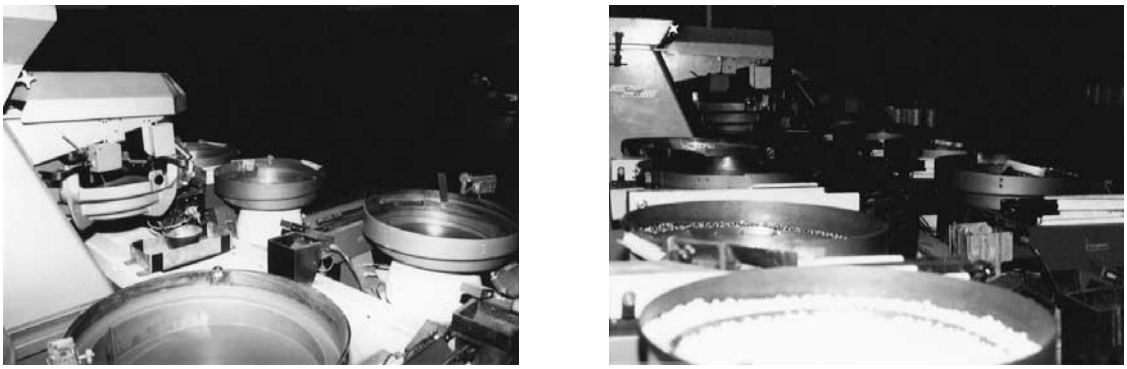


Figura 11-35 Alimentador vibratorio de partes (cortesía de Fred Meyers).

Los remaches, rondanas, tornillos y pernos se alimentan a máquinas que usan estos sujetadores por medio de alimentadores vibratorios.

Eliminación de desechos

La eliminación de los desechos de las estaciones de manufactura requiere equipo especial para el manejo de materiales (vea la figura 11-36a). Para llevar a cabo esa labor se utilizan tolvas vertedoras, similares a las que se ilustran en la figura 11-33. La remoción de las astillas de las máquinas de corte elimina los aceites abrasivos y los pone en una tolva. Los compactadores de basura reducen los costos de la eliminación de desperdicios y los compresores de papel convierten los costos de aquélla en utilidades. La disposición de los desechos es un área en la que el equipo para manejar materiales mejora mucho el rendimiento y disminuye los costos.

Entre los subproductos más difíciles de manejar de las operaciones de maquinado se encuentran las astillas. El trabajo manual difícil, sucio y peligroso de retirarlas se evita con la instalación de sistemas especiales de manejo de materiales. La figura 11-36b muestra un sistema confinado para retirar las astillas que usa una cadena sin fin con láminas que las empuja a través de un tubo sellado hasta una tolva de almacenamiento. El fluido del corte u otros líquidos se recupera en puntos en los que el bombeo sube a un nivel más alto. El sistema ofrece grandes ahorros en mano de obra y energía, al mismo tiempo que ofrece seguridad, espacio, flexibilidad y transporte libre de contaminación.

El sistema se adecua para ajustarse a casi cualquier distribución de planta y se reacomoda con facilidad si se agregan, eliminan o reubican las máquinas. La figura 11-36c muestra la descarga de astillas en la tolva.

Travesaños móviles

Los travesaños móviles cargan y descargan las máquinas, eliminan la necesidad de que un operador maneje los materiales (vea la figura 11-37). Los travesaños móviles recogen una parte, la mueven dentro de la máquina y regresan al punto de partida. Hay dos travesaños que trabajan en la misma máquina: uno carga y el otro descarga.

Figura 11-36a Eliminación de desechos (cortesía de Global Equipment Co.).

Mesas de rodamientos

Las mesas de rodamientos tienen baleros en su superficie, a fin de permitir que el material pesado se mueva con facilidad (vea la figura 11-38, p. 350). Con sólo 10 libras de fuerza es posible desplazar una placa de 200 libras.

Mesas de rodamientos energizadas

En una mesa redonda se construye una estación de manufactura y se establecen índices en forma automática (se gira, vea la figura 11-39, p. 350). Al manufacturar hierros de golf, se perfora un agujero de 2 pulgadas en la vara (hoyo en el palo). El hoyo se cubre y una vez cubierto se hacen facetas en su parte superior. Todas estas operaciones se llevan a cabo al mismo tiempo en la mesa redonda.

Grúas de travesaño

Las grúas de travesaño son dispositivos de levantamiento unidos a una pluma (vea la figura 11-40, p. 350). La pluma se monta en la parte superior de un mástil (travesaño vertical), que gira 360º alrededor de la pluma. La grúa levanta cargas o herramientas muy pesadas y las

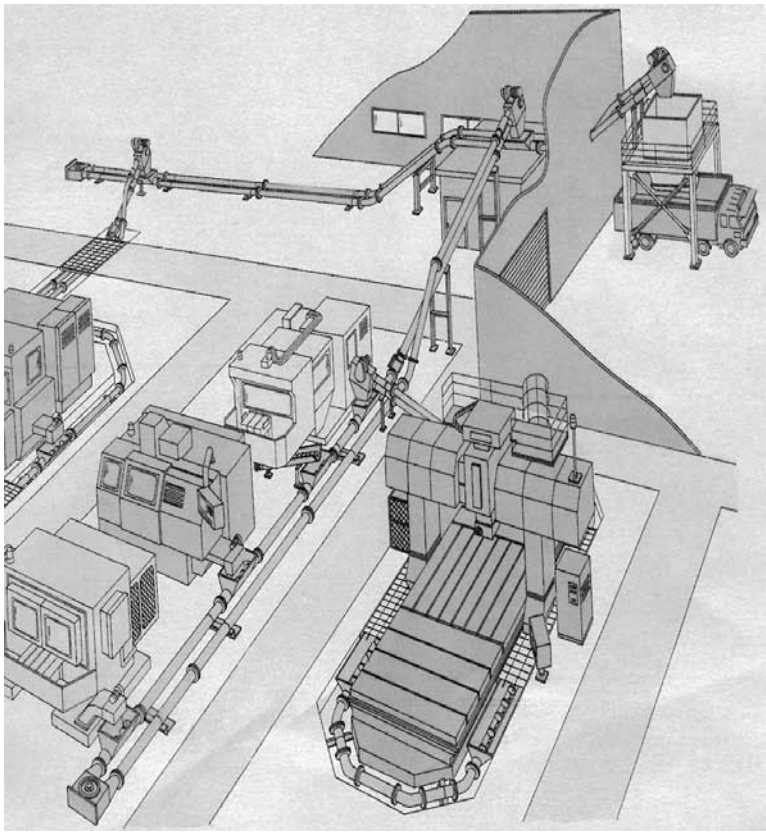


Figura 11-36b Sistema automático de eliminación de desechos (cortesía de Turbo Conveyor).

lleva a las máquinas. Una pluma de 200 pies que se monte entre cuatro máquinas las atiende a todas.

Elevadores magnéticos o de vacío

Un elevador de vacío o magnético que se monte en una grúa de brazo o, en las plantas grandes, de puente, sostiene placas de material grandes y pesadas (vea la figura 11-41). Las superficies de recubrimiento de los aviones se mueven con elevadores de vacío.

Robots

Los robots pueden usarse para realizar distintas tareas, inclusive cargar y descargar, pintar, soldar y un vasto conjunto de actividades de manejo de materiales. Además de llevar a cabo trabajos repetitivos con un grado alto de exactitud, también son muy útiles para hacer labores peligrosas y riesgosas en ambientes hostiles para los trabajadores humanos. La figura 11-42a (p. 352) muestra un robot mientras ejecuta varios trabajos de manufactura. La fi-

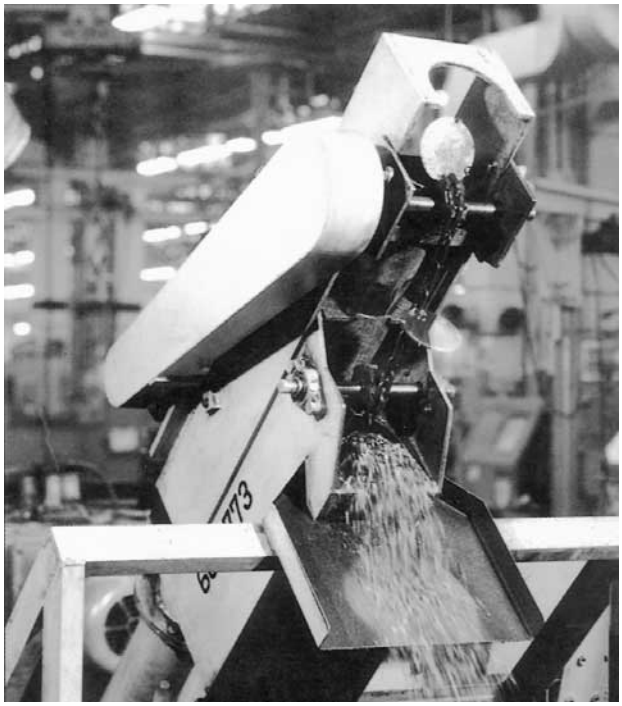


Figura 11-36c Descarga de astillas (cortesía de Turbo Conveyor).

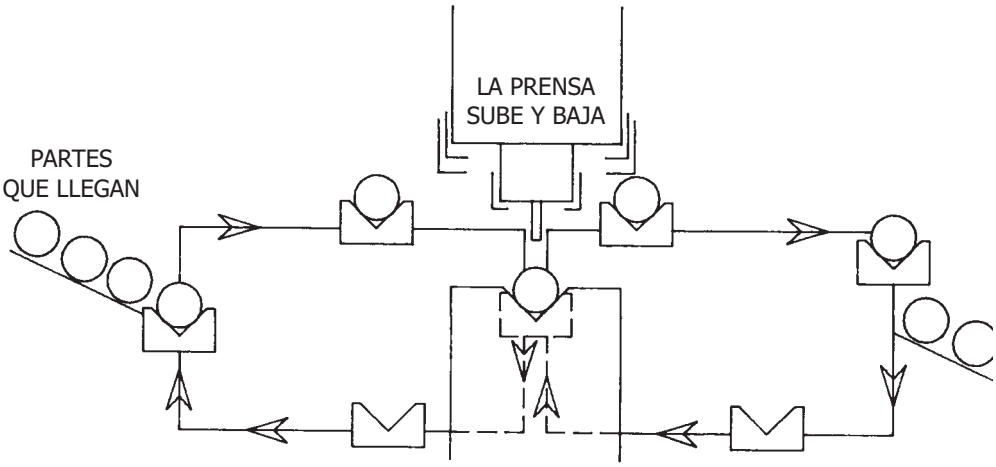


Figura 11-37 Travesaño móvil que carga y descarga una prensa.

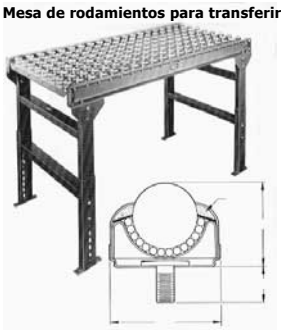


Figura 11-38 Mesa de rodamientos (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

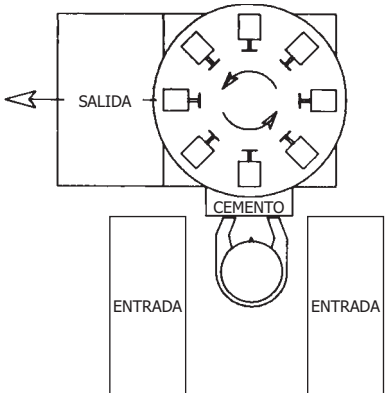


Figura 11-39 Mesa de rodamientos energizada.

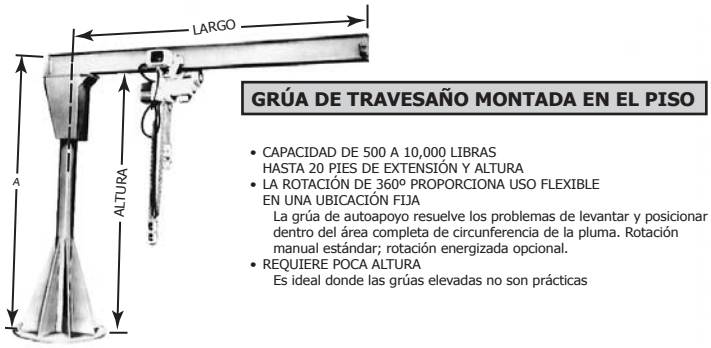


Figura 11-40 Grúa de travesaño (cortesía de Air Technical Industries).

Figura 11-41 Manipulador (cortesía de TDA Buddy Systems).

gura 11-42b presenta el centro de operaciones de un robot, que actúa como supervisor de producción diseñado para incrementar la productividad, por medio de proporcionar vigilancia a nivel de celda, diagnóstico y reportes. En la figura 11-42c (p. 354) se especifican las dimensiones de un robot.

Equipo móvil para fabricación

El movimiento del material por el área de fabricación requiere equipo capaz de seguir trayectorias distintas. Éstas cambian con los requerimientos de cada parte distinta que se manufacture. El equipo que se describe en esta sección no se encuentra en un orden preestablecido y se reacomoda con facilidad.

Rampas y bajadas

Las rampas y bajadas son tan sencillas como las resbaladillas con que juegan los niños (vea la figura 11-43, p. 355). El operador que acaba de terminar la operación coloca el material sobre la rampa. El objeto se desliza por gravedad hacia el operador siguiente. Las rampas y bajadas se hacen de madera, plástico o acero, y se transportan con facilidad.

Ruedas de patines y transportadores rodantes (no energizados)

Las ruedas de patines y transportadores rodantes se proveen en secciones de 10 pies que se combinan para alcanzar cualquier longitud (vea la figura 11-44, p. 356). Se mueven de manera fácil para cambiar de dirección, y la pendiente se ajusta para que las partes rueden. Si algunas de éstas no lo hicieran, se colocan en contenedores o tableros de madera para que lo hagan.

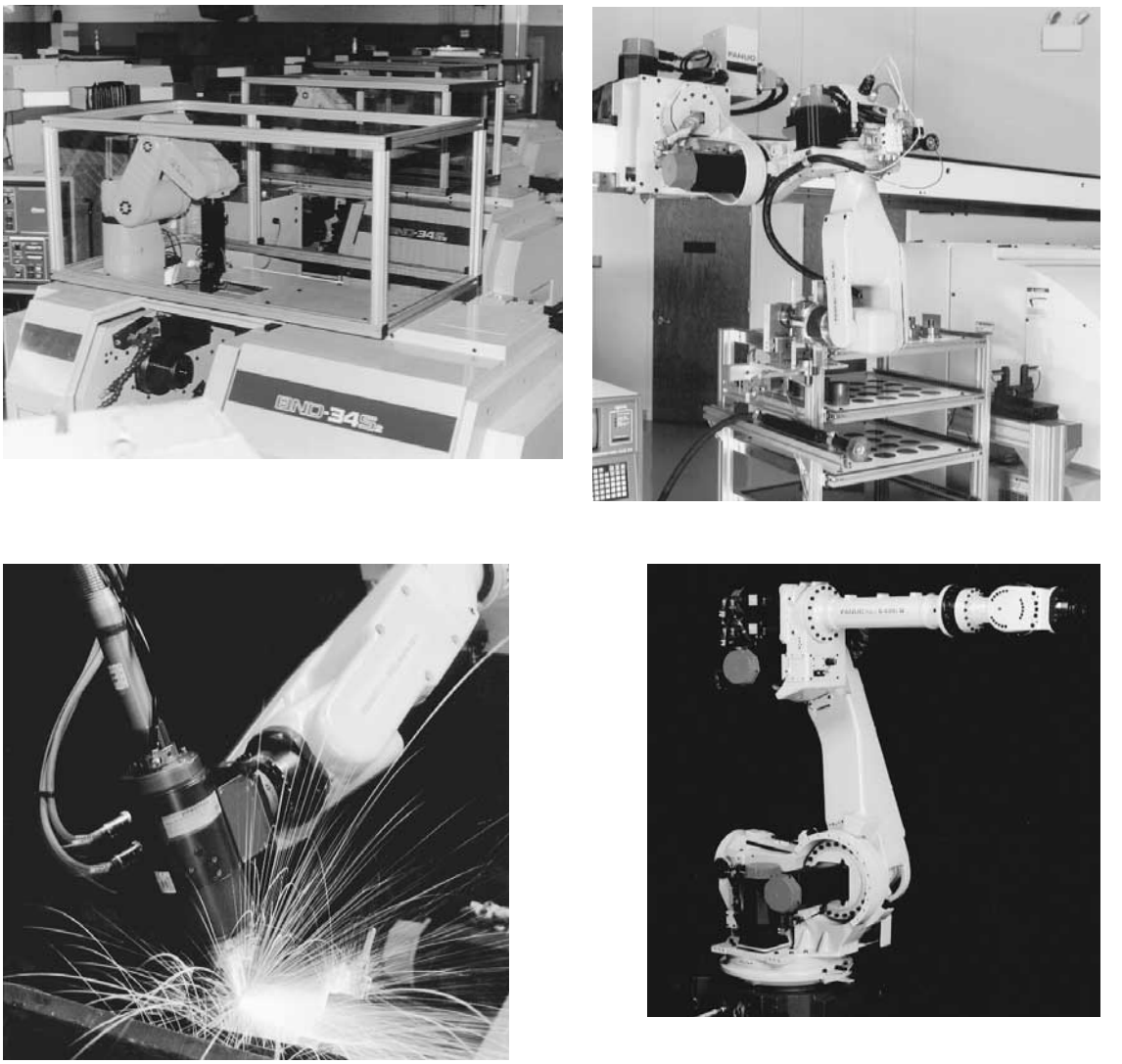


Figura 11-42a Robot de los más recientes que lleva a cabo algunas tareas de manufactura (cortesía de GM Fanuc Robotics Corporation).

Las ruedas de patines y transportadores rodantes son muy flexibles y siguen cualquier trayectoria. Los sostenes en V (consulte la figura 11-31) se combinan con ruedas de patines para crear un sistema de manejo de materiales que conecta dos estaciones de manufactura y alimenta en forma automática, a una posición conveniente para que los operadores las recojan sin caminar ni flexionarse.

Figura 11-42b Centro de operaciones de un robot (cortesía de GM Fanuc Robotics Corporation).

Transportadores elevadores

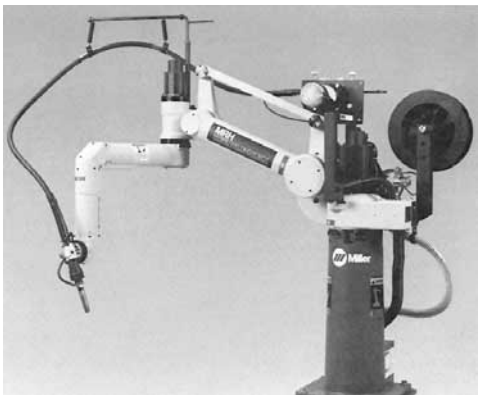
Éstos trasladan las partes desde casi el nivel del piso a cualquier posición más elevada (vea la figura 11-45a). Se usan en máquinas automáticas en las que la parte cae de la máquina por una rampa hasta el fondo del tranportador elevador que la sube a un bidón en el que se reúnen cientos o miles de partes. Los transportadores elevadores (a veces llamados *transportadores de cubeta*) pueden transportar agua, granos, carbón y casi cualquier cosa que se requiera en volúmenes grandes.

Transportadores de ángulo ajustable

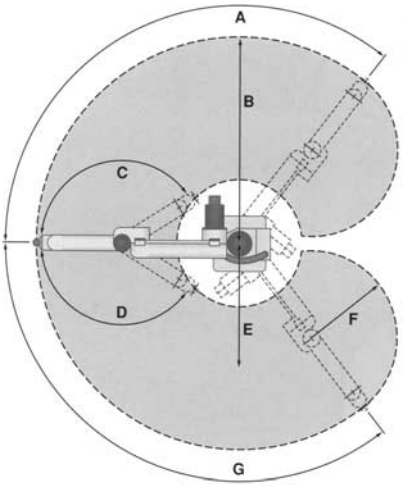
Los transportadores de ángulo ajustable (vea la figura 11-45b) también se incluyen en esta clase. Se instalan y reconfiguran con facilidad a fin de que satisfagan distintas necesidades de manufactura, ensamblado y manejo a granel. Los transportadores antideslizantes, con o sin paredes laterales antideslizantes, son ideales para manejar productos pequeños o a granel.

Transportadores magnéticos

También se usan para levantar partes y componentes ferrosos en un ángulo inclinado, de manera barata y eficiente. Los tranportadores magnéticos también son muy útiles para retirar partes y desechos que estén bajo tuercas y en otras operaciones de giro o remoción de materiales. Los transportadores de vacío son de utilidad en el caso de materiales no ferrosos, tales como películas, papel y plástico. Los transportadores magnéticos, al igual que los de vacío (que se muestran en la figura 11-45c) auxilian en el control de las caídas, la orientación y el espaciamiento de las partes. El transportador de ángulo ajustable que se aprecia en la figura 11-45b ofrece flexibilidad y remoción eficientes de las partes.



RANGO DE TRABAJO DEL MANIPULADOR		
A	130'	
B	51.8 pulg.	1315 mm
C	150'	
D	150'	
E	15.9 pulg.	403 mm
F	21.5 pulg.	546 mm
G	130	



RANGO DE TRABAJO DEL MANIPULADOR		
H	24.7 pulg.	627 mm
J	55.4 pulg.	1407 mm
K	30.7 pulg.	780 mm
L	25.7 pulg.	653 mm
M	15.6 pulg.	396 mm
N	6.6 pulg.	167 mm
P	11.9 pulg.	302 mm
Q	15.9 pulg.	403 mm
R	35.9 pulg.	912 mm
S	30.2 pulg.	767 mm

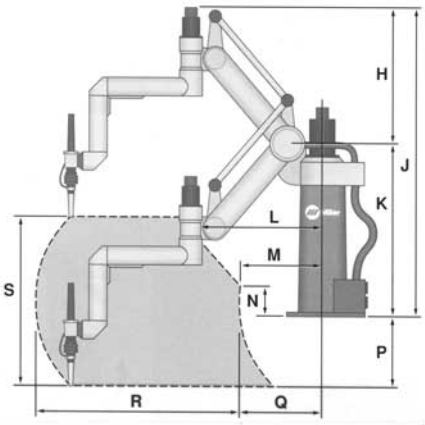


Figura 11-42c Dimensiones del robot y cobertura de trabajo (cortesía de Miller Electronic Mfg. Co.).

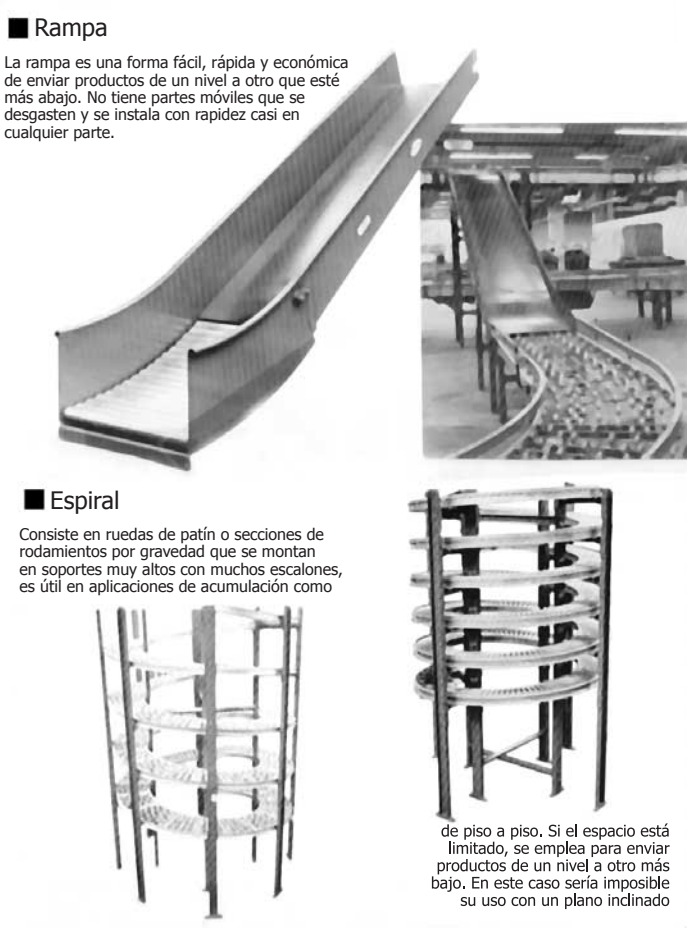


Figura 11-43 Rampa y bajada (cortesía de W. W. Monroe Equipment Co.).

Transportadores de tornillo y en espiral

Estos transportadores son tubos que tienen un tornillo en su interior (vea la figura 11-46, p. 359). La rotación del tornillo jala y empuja el material en dirección del giro. Los granos y las astillas de madera se transportan de este modo.

Transportadores de vibración

Mueven las partes a lo largo de una bajada o rampa por medio de vibraciones. Los transportadores vibratorios inclinados se usan para separar partes, tales como la arena de la fundición o de medios inestables: partículas de plástico, mazorcas de maíz y rocas (vea la figura 11-47, p. 360).

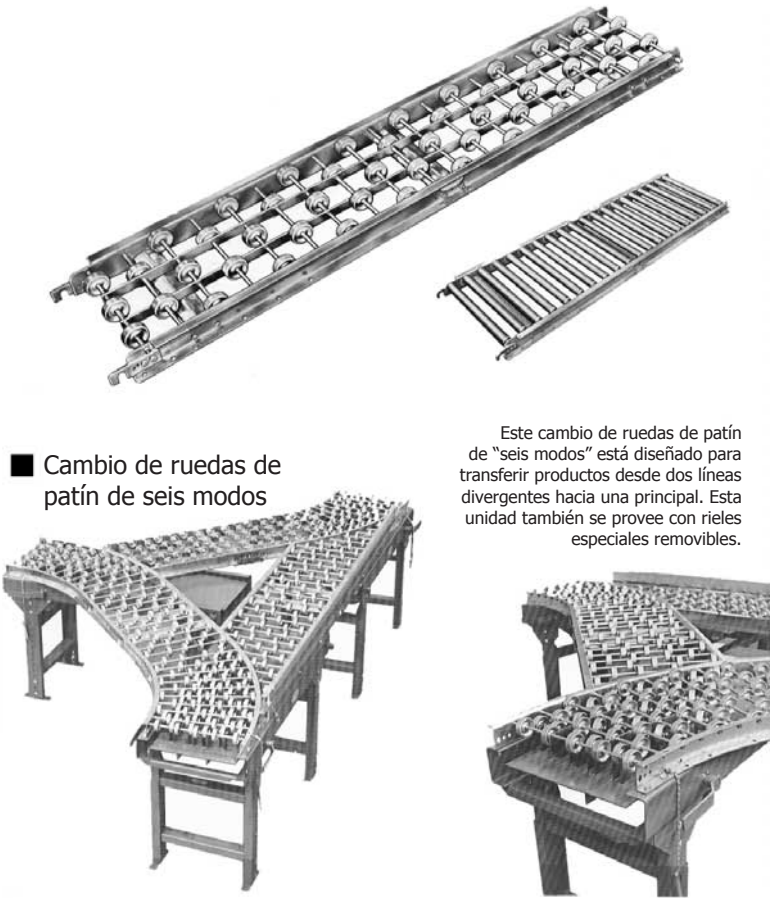


Figura 11-44 Transportadores de ruedas de patín y de rodamientos (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

Transportadores de vagoneta monorriel

Consiste en un solo riel sobre una estación de manufactura o entre dos de ellas, para mover partes de herramientas a lo largo de una trayectoria fija (vea la figura 11-48, p. 361). Si se necesita una herramienta pesada en cualquier lugar de una ruta de 20 pies, coloque un monorriel por el que ésta siga y cuelgue de él la herramienta.

Carros de mano energizados

Se asemejan a los carros de mano, excepto porque tienen una batería (vea las figuras 11-49 y 11-50, p. 362). Levantan y transportan pesos más grandes y son más fáciles de controlar. En distancias cortas (dentro de un mismo departamento) son más eficientes en cuanto a costo que los montacargas.

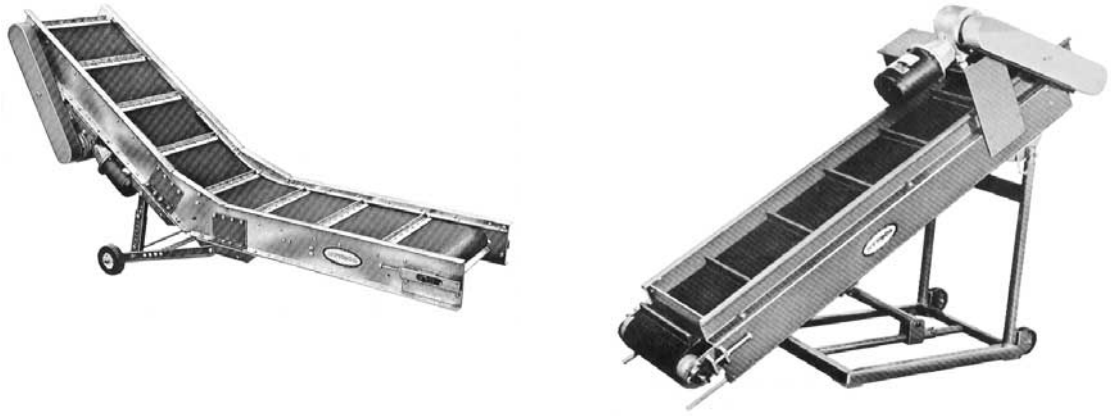


Figura 11-45a Transportador elevador (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

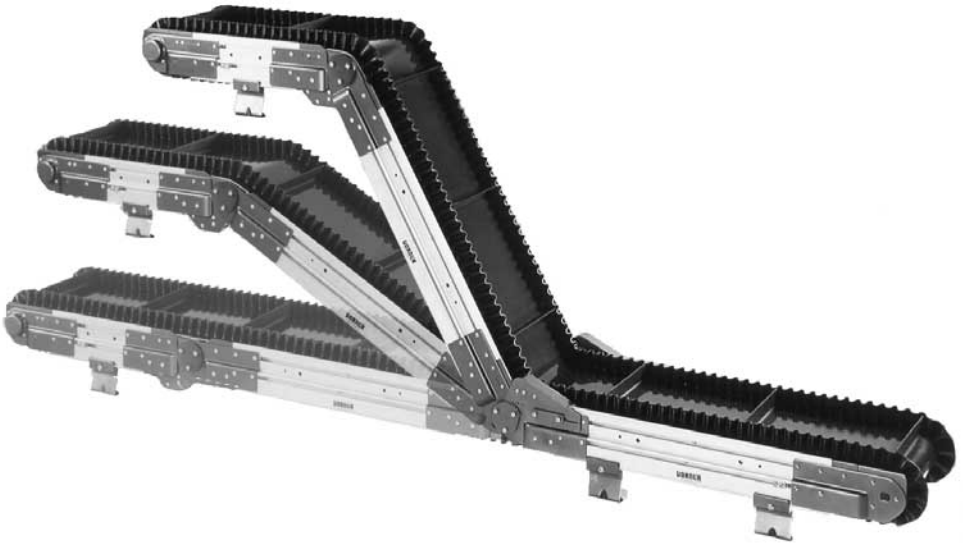
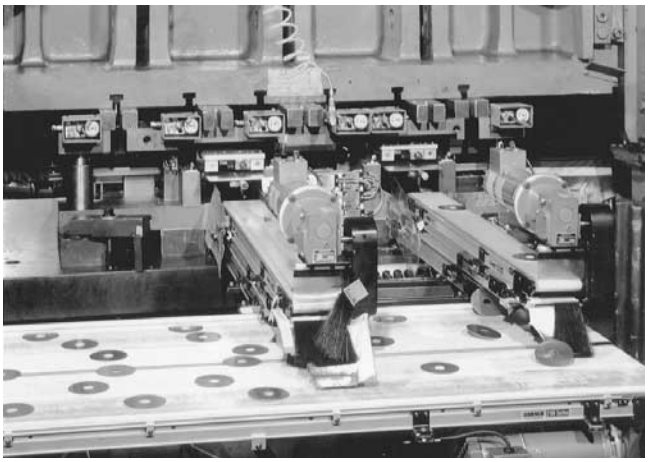


Figura 11-45b Transportador de ángulo ajustable (cortesía de Dorner Mfg. Corp.).



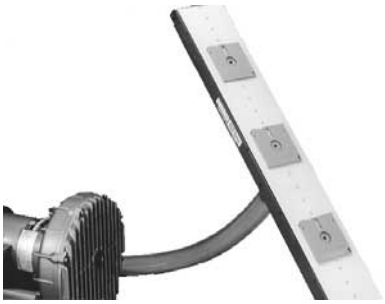


Figura 11-45c Transportadores magnéticos y de vacío (cortesía de Dorner Mfg. Corp.).

TRANSPORTADOR EN ESPIRAL

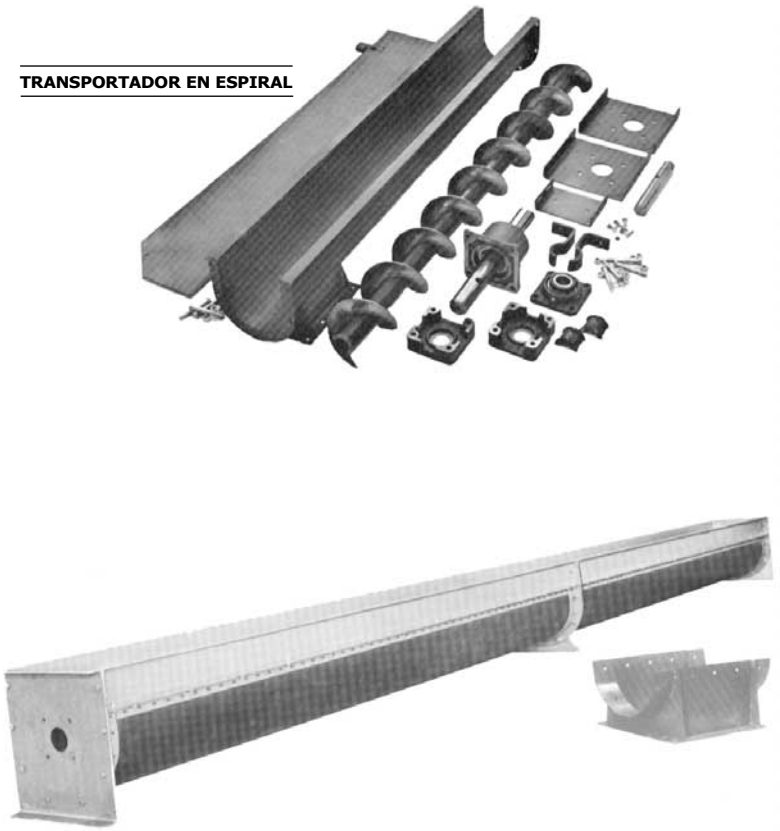
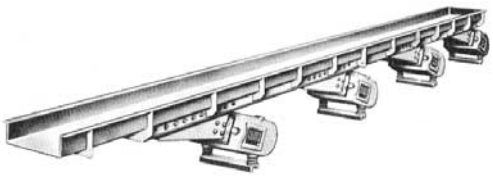


Figura 11-46 Transportador en espiral o de tornillo (cortesía de Conveyor and Drive Equipment Co., Inc.).

ENSAMBLADO Y PINTURA

Muchas operaciones de ensamble, en especial pequeños y subensambles, son igual que las de las estaciones de manufactura de fabricación y se usará el equipo analizado en la sección anterior (fabricación). En el ensamble se usan los contrapesos (figura 11-34a), alimentadores vibratorios (figura 11-35), sostenes inclinados (figuras 11-29 y 11-30), tolvas vertedoras (figura 11-33), contendores de piezas (figura 11-25), y tinas y cestas (figura 11-26), pero al hablar del equipo para manejar los materiales del ensamble, casi todas las personas piensan en los transportadores. Hay muchos transportadores diferentes. En esta sección se estudiarán los más populares.



ALIMENTADORES VIBRATORIOS SYNTRON

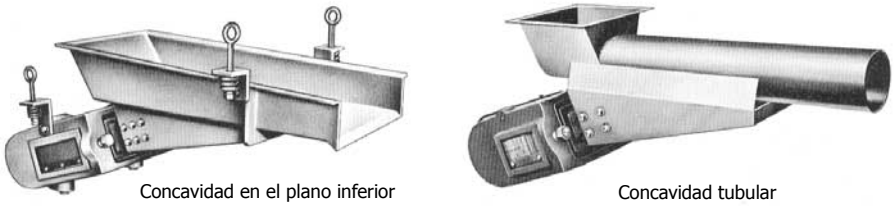


Figura 11-47 Equipo vibratorio (cortesía de Conveyor and Drive Equipment Co., Inc.).

Transportadores sin fin

Son circuitos sin fin que tienen cualquier anchura y longitud (vea la figura 11-51). Los transportadores eliminan la necesidad de mover los ensambles hacia la estación de manufactura y fuera de ésta, y también la necesidad de sostener la unidad por su base. La velocidad y la altura de trabajo de los transportadores deben ser ajustables. Se determinan las detenciones del transportador a fin de llevar los ensambles a la estación de manufactura, y se queda inmóvil hasta que se termina la tarea. El material de que están hechos los transportadores es tela o plástico, y operan sobre placas de metal o rodillos.

Transportadores de rodillos energizados

Los transportadores de rodillos energizados (vea la figura 11-52, p. 364) se desempeñan en forma similar a la de los transportadores sin fin y parecen uno de rodillos sin energía, como el que se aprecia en la figura 11-44. Un uso apropiado de los transportadores de rodillos energizados es para transportar cajas en una trayectoria fija durante distancias largas.

Transportadores tipo carro

Un transportador tipo carro se obtiene al agregar accesorios a un cable para jalarlo a lo largo de una trayectoria fija (vea la figura 11-53, p. 365). El transportador tipo carro se asemeja a una vía férrea pequeña con vagones planos que llenan su circuito. Imagine un tren infantil con su vía llena de carros planos. En lugar de que una máquina los jale, es un sistema

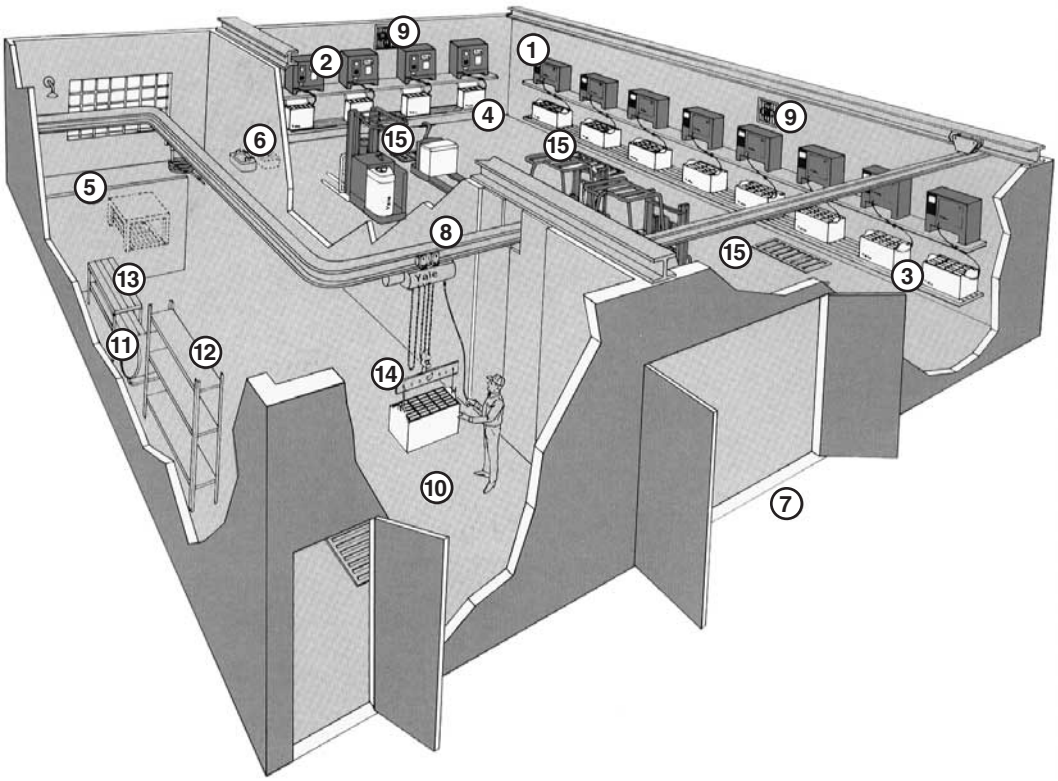


Figura 11-48 Transportador de vagoneta monorriel (cortesía de Yale Materials Handling Corp.).

de cable el que lo hace con una velocidad uniforme. Sobre los carros planos se disponen los accesorios de sostén para darles cualquier patrón.

Transportadores de tablillas

Éstos son transportadores de tablillas de madera o metal unidos a cadenas (vea la figura 11-54, p. 366). Las tablillas se mueven por dos cadenas paralelas hasta el final de la línea y luego regresan al principio por debajo de ella, igual que los transportadores sin fin. En la industria de la madera ésta se corta y se deja caer en un transportador fabricado con tablillas de 2 pulgadas × 6 pulgadas × 20 pies. Este transportador recorre 200 pies desde la sierra, y a ambos lados de él los trabajadores separan los tamaños y los tipos de madera, que son colocados en carros.

En las plantas embotelladoras, las botellas o latas se transportan entre las máquinas que las llenan, tapan y etiquetan, por medio de transportadores de tablillas hechos de piezas metálicas delgadas de 6 pulgadas × 4. Los televisores se ensamblan en un transportador de tablillas de 2 pulgadas × 4 pulgadas × 4 pies, con conexiones eléctricas a cada 2 pies. La

Figura 11-49 Carro de mano energizado (cortesía de Yale Materials Handling Corp.).

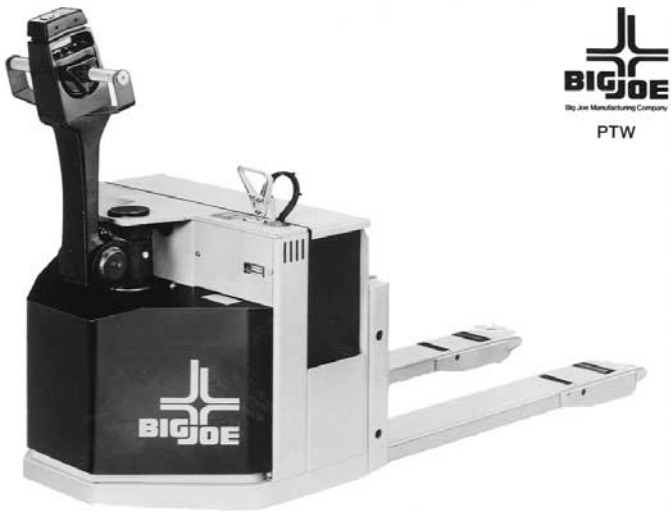


Figura 11-50 Carro de mano energizado (cortesía de Big Joe Manufacturing Co.).

Figura 11-51 Transportador sin fin (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

Caterpillar Tractor Company ensambla sus tractores más grandes en un transportador de tablillas construido a nivel del piso. El transportador se mueve unos cuantos pies por hora, pero el material se lleva y trae a él por medio de montacargas. Las personas entran y salen del transportador caminando, sin enterarse siquiera de que estuvieron en él. El transportador de Caterpillar está hecho de tablillas de acero de 1/2 pulg de espesor, 12 pulg de ancho y 20 pies de largo.

Transportadores de remolque

Los transportadores de remolque tiran de carros alrededor de una trayectoria fija (vea las figuras 11-55a a 11-55c, pp. 367-369). La fuerza que lo mueve puede estar sobre el piso o bajo éste, pero en ambos casos realiza el mismo trabajo. Una ventaja de la línea de ensamble de remolque es que es posible retirar una unidad de ella sin detenerla. Los carros transportados con remolques mueven una variedad amplia de productos. Los accesorios que se montan en ellos son para un producto específico.

TRANSPORTADOR DE RODILLOS VIVOS
El modelo "190-SP" de transportador de rodillos vivos tipo "carrete" es para el transporte general, con la capacidad de acumular productos con presión de retroceso mínima. Su operación silenciosa, diseño versátil e instalación fácil, son características estándar que hacen del transportador "190-SP" un componente valioso en las operaciones que requieren rendimiento elevado con mínimo tiempo de inactividad.

- ★ *12 anchos de plataforma*
- ★ *Presión de retroceso mínima*
- ★ *Su fuerza única ejecuta curvas, rizos y rectas*
- ★ *Capacidades de alta velocidad*

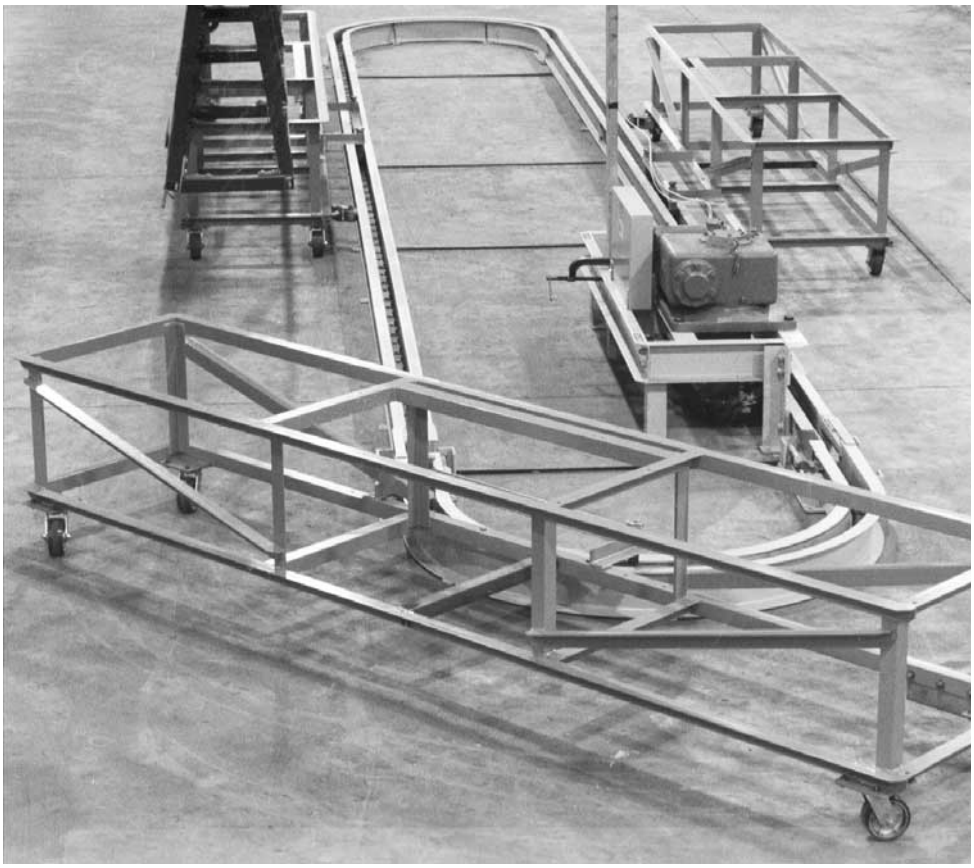
TRANSPORTADOR DE RODILLOS VIVOS MOVIDO POR CADENA (RODAR-RODAR)
El diseño sólido y resistente de la "25-CRR" y de la "26-CRR" permite que se usen para transportar elementos de carga pesados, tales como plataformas y bidones cargados. Los rodillos movidos por cadena la hacen ideal para operaciones de lavado y el transporte de partes aceitosas en las industrias embotelladoras y del acero, fundiciones, etcétera.

- ★ *Operación centralizada*
- ★ *12 anchos de plataforma, 22 1/4 a 54 1/4 pulg*
- ★ *Rodamientos sellados removibles*
- ★ *Reversible*
- ★ *Apoyos ajustables para el piso*

Figura 11-52 Transportadores de rodillos (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

Transportadores elevados de vagonetas

Estos transportadores pueden ir a cualquier sitio (vea las figuras 11-56a y 11-56b, pp. 369-370). Un fabricante de transportadores usa el lema "a cualquier lugar y a todos los lugares, con Unibil". Los sistemas elevados de vagonetas llevan partes a través de tratamientos a base de calor, lavado, pintura y secado, al departamento de ensamble. Se cargan y descargan al nivel del piso, y después se elevan al techo para ir sobre el equipo y los empleados de la planta. Los transportadores de vagonetas son tirados por un cable o cadena a lo largo de canales practicados en vigas tipo I, con una sola unidad de impulso. Bajo las vagonetas hay ganchos



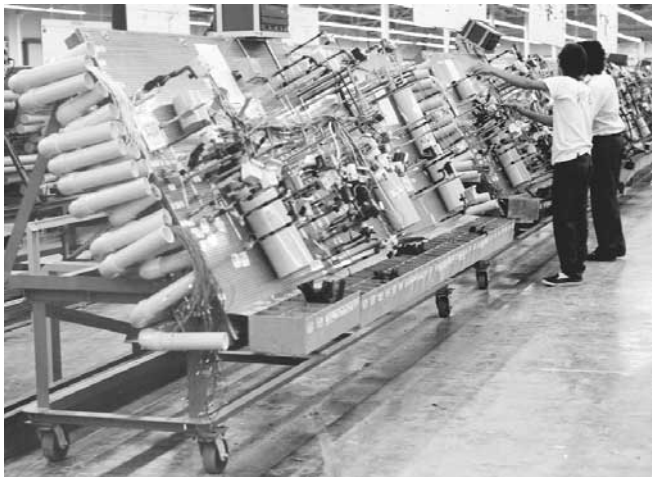


Figura 11-53 Transportadores tipo carro (cortesía de Webb-Stiles Company).

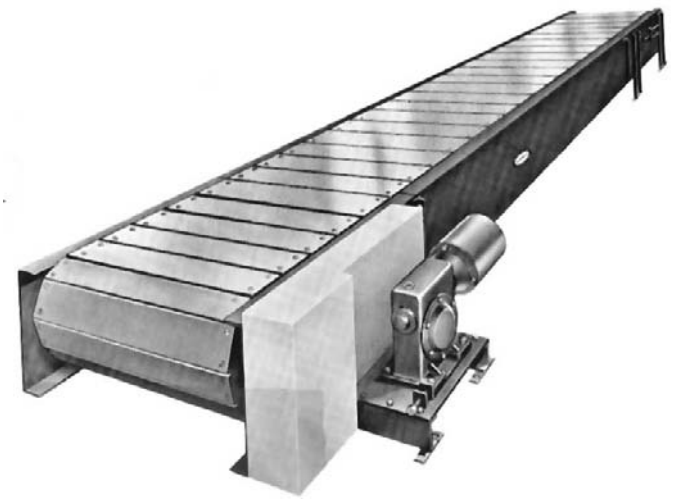


Figura 11-54 Transportador de tablillas (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

y armazones que sostienen las partes. El estudio de los transportadores elevados de vagonetas es una especialidad por sí misma.

El método más común para colgar partes de la vagoneta es un sencillo gancho tipo S, pero los sistemas de ganchos se vuelven complicados. Las partes giran en el transportador elevado de vagonetas con la colocación de una rueda sobre el gancho, una barra estacionaria que se monta junto al área empuja hacia donde se quiere que la parte gire. Las partes se hacen girar por medio de una X encima del gancho y la colocación de un perno estacionario para cada giro de 90º que se desee.

Transportadores con fuerza y libertad

Los transportadores con fuerza y libertad son aquellos que tienen una vía para la línea que aplica la fuerza y otra para llevar las vagonetas (vea la figura 11-57, p. 370). La ventaja es que es posible detener una sola parte sin que la línea se detenga. Si se está vertiendo hierro fundido en un molde no se desea que éste se mueva, por lo que se detiene lo suficiente para recibir y después se reconecta a la línea de fuerza. Los transportadores con fuerza y libertad llevan el producto a otras líneas diferentes o lo sitúan en las áreas donde se requiere.

EMPAQUE

El empaque es, por lo general, el final del ensamblado y gran parte de los dispositivos para manejar materiales se emplean en él. Aunque es común que el empaque involucre una unidad para el envío, a veces incluye la colocación de muchos productos en un paquete. El equipo de manejo de materiales ha mejorado la calidad y la eficiencia del empaque. El siguiente equipo se usa en el departamento donde se empaca.

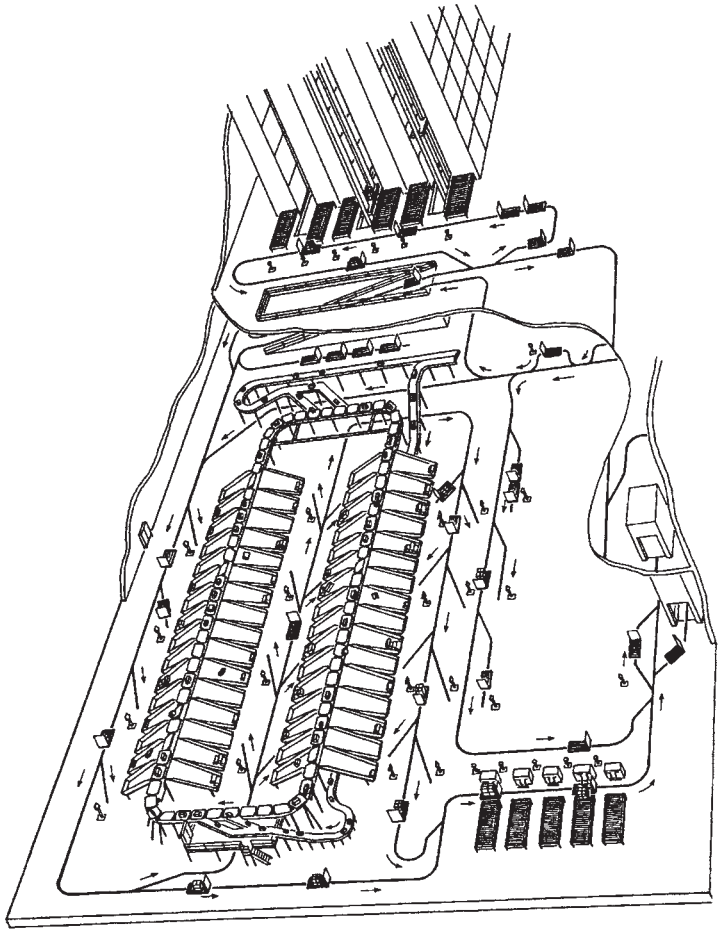


Figura 11-55a Línea de remolque (cortesía de Handling S.I. Systems, Inc.).

Armadores de cajas

El armado de cajas se lleva a cabo de manera automática y se hace alrededor del producto que se empaca (vea la figura 11-58, p. 371). Las plantas embotelladoras de refrescos usan armadores de cajas.

Doblado, pegado y engrapado automáticos

Cerrar y sellar las cajas se hace de modo automático en el transportador de empaque (vea la figura 11-59, p. 371).

Figura 11-55b Transportador de remolque (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

Apiladores

Una vez que las cajas se han llenado y cerrado, se apilan automáticamente en las plataformas según un programa, y se llevan a un área para que un vehículo las recoja y las lleve a la bodega (vea la figura 11-60, p. 372).

Robots para tomar y colocar

Esta clase de robots también cargan las plataformas con productos terminados (vea la figura 11-61, p. 373). El robot manipula al mismo tiempo cierto número de paquetes distintos, pero la función es la misma que realiza un apilador.

Figura 11-55c Transportador de remolque (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

Figura 11-56a Transportador elevado de vagoneta (cortesía de Richards-Wilcox).

Figura 11-56b Transportadores de vagoneta (cortesía de Buschman Company).

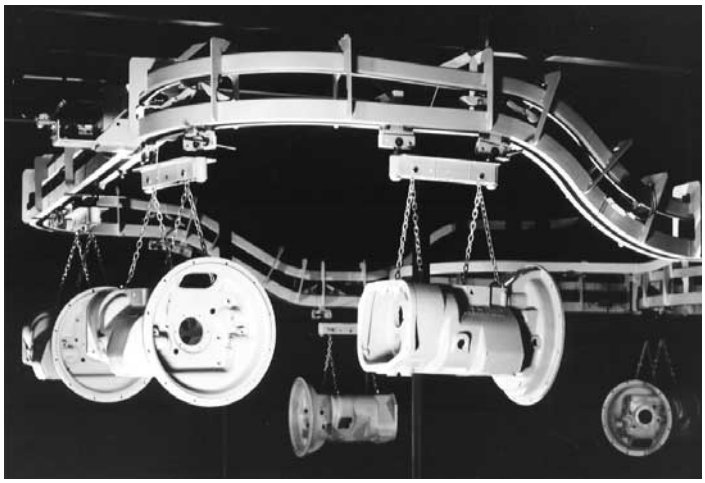


Figura 11-57 Transportador de fuerza y libertad (cortesía de Richards-Wilcox).

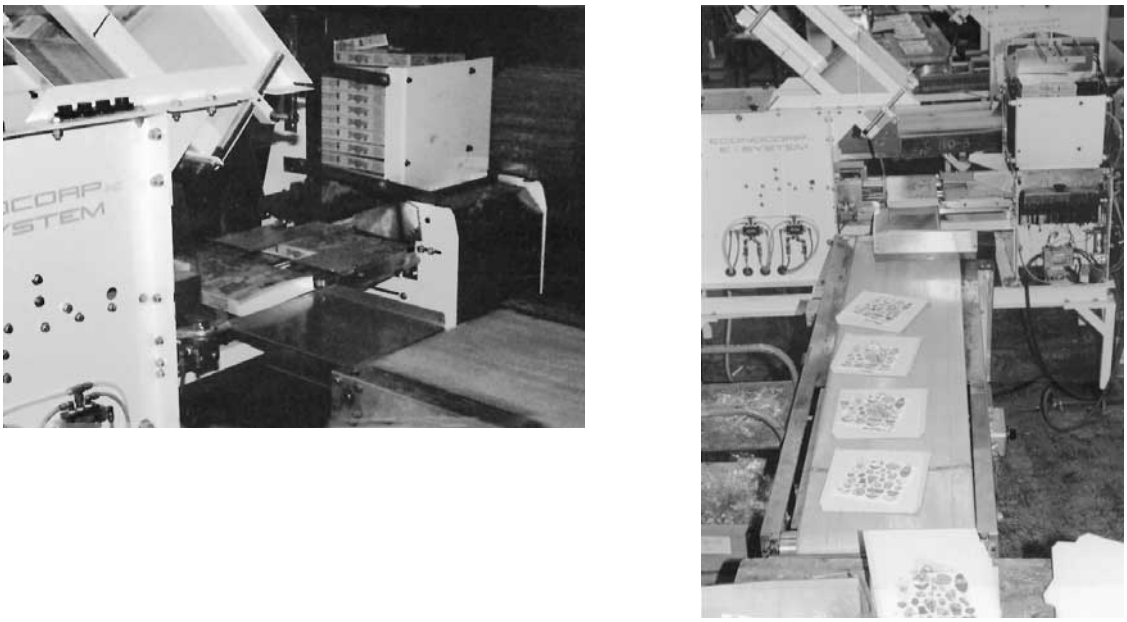


Figura 11-58 Armador de cajas.

Figura 11-59 Sellado (cortesía de Durable Packaging Corp., 3139 West Chicago Avenue, Chicago, IL).

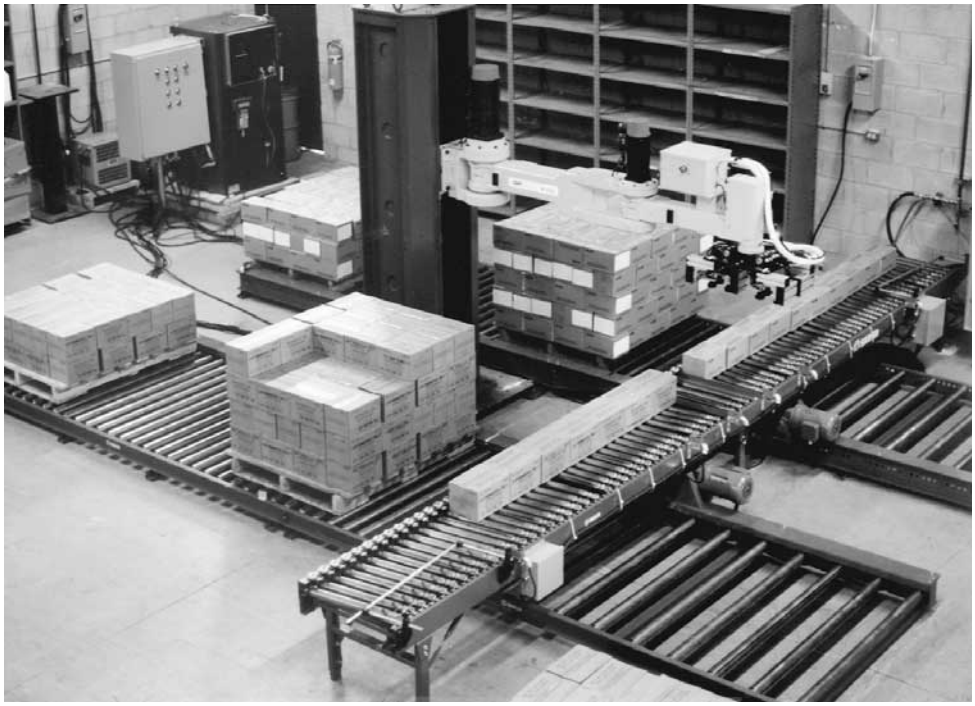


Figura 11-60 Robot apilador (cortesía de GM Fanuc Robotics Corporation).

Bandeo

Es automático poner transportadores en las cajas ya cerradas por medio de un colocador de ellas alrededor del transportador de empaque (vea la figura 11-62). También pueden ponerse transportadores a muchos paquetes sobre una plataforma. Se usa el bandeo si los paquetes no se sostienen por sí mismos en las plataformas. Si las cajas son casi cuadradas, no se ajustarán (no se sostendrán solas en la plataforma), por lo que se requerirá bandearlas.

Envoltura ajustada

Se parece al bandeo en cuanto a que mantiene los paquetes unidos sobre una plataforma (vea la figura 11-63).

EMBODEGAR

Embodegar es parecido al almacenamiento, en el sentido de que los anaqueles, los armazones, las plataformas y ciertos vehículos son similares para ambas áreas. Por tanto, aquí no se estudiarán de nuevo dichos elementos del equipo.

Figura 11-61 Robots para tomar y colocar (cortesía de GM Fanuc Robotics Corporation).

Esta sección se centrará en algunos equipos únicos que se usan en las bodegas. Las funciones de una bodega son recolectar las órdenes de los consumidores y prepararlas para su envío. El primer grupo de equipo que será analizado se relaciona con la recolección de las órdenes.

Carros recolectores

Las órdenes de los clientes se toman de los anaqueles y se colocan en carros recolectores. En las bodegas de herramientas, cintas de audio y libros se empleará esta clase de equipo (vea las figuras 11-64 y 11-65, pp. 376-377).

Contenedores de flujo por gravedad

Si el producto es pequeño y se vende en volúmenes grandes, es posible almacenar muchas partes en un área pequeña, lo que reduce la necesidad del personal que lo recoge de recorrer distancias grandes (vea las figuras 11-66a y 11-66b, pp. 378 y 379). Las bodegas de medicinas usan este sistema para sus productos tipo A.

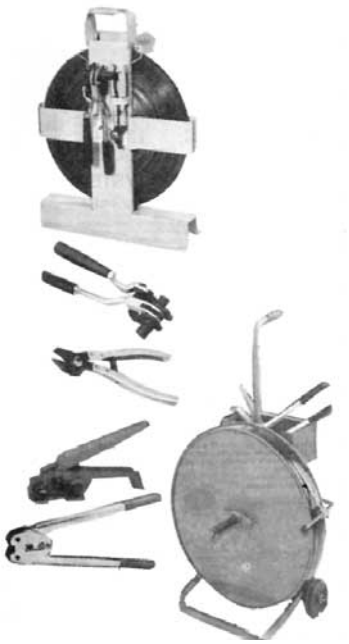


Figura 11-62 Bandeo (cortesía de Global Equipment Co.).

Carros recolectores tipo tractor-camión

Si se trata de surtir órdenes grandes, como en las bodegas de abarrotes, el personal conduciría un tractor que remolcara muchos carros (vea la figura 11-67, p. 380). Es frecuente que se usen tractores de control remoto, de modo que la persona que recolecta obtiene los abarrotes de un canión en reversa y luego lo mueve.

Son muy importantes los camiones que se siguen uno a otro (remolque). Hay dos técnicas empleadas para hacer que los camiones se remolquen bien:

1. Las ruedas delanteras viran en un sentido y las traseras en el opuesto.
2. Se colocan dos ruedas en medio del camión para que soporten la carga, y se montan ruedas piloto en la parte media del frente y el final. Las ruedas piloto sólo mantienen el nivel del camión.

Una vez que los camiones están llenos, el conductor los lleva a la zona de envío para que se cargue un vehículo para la carretera.

Vehículos de abrazaderas

Éstos son montacargas especiales que eliminan el uso de plataformas (vea la figura 11-68, p. 381). Dos placas de 4 pies × 4 sujetan juntas las cajas apiladas, después el vehículo las eleva y lleva el material dentro y fuera de la bodega. Los fabricantes de juguetes, parrillas de

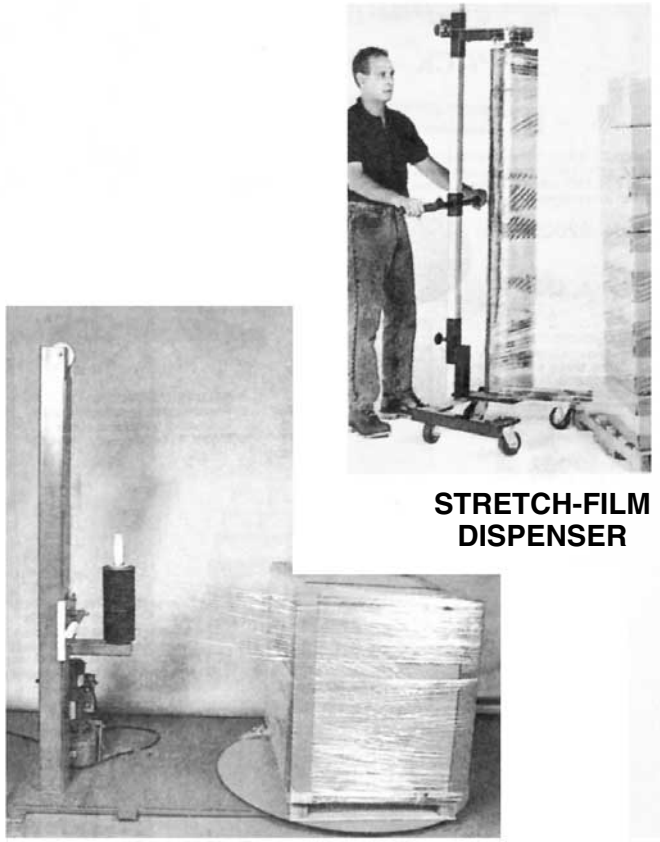


Figura 11-63 Envoltura ajustada (cortesía de Global Equipment Co.).

gas, aparatos, cajas de tachuelas, y muchas industrias más que producen grandes volúmenes de productos grandes usan esta herramienta por razones de eficiencia y utilización del espacio.

Transportadores rotatorios de contenedores

Estos transportadores llevan los productos (pequeños) a quien los recoge, lo que ahorra la caminata. Las bodegas de refacciones usan esta técnica (vea la figura 11-69, p. 381).

Bodega vertical y carros recolectores

Una bodega vertical podría tener 40 entrepaños de altura que midieran 300 pies de largo, a ambos lados de un pasillo de 4 pies (vea la figura 11-70, p. 382). Así, se dispondría de 8,000 entrepaños para 8,000 productos distintos. El trabajador surte todas las órdenes de cierto grupo de productos (se colocan en el orden de recolección) y se procede a la primera

Figura 11-64 Carro recolector (cortesía de Global Equipment Co.).

ubicación. El empleado viaja en una plataforma que sube y baja según esté almacenada la carga. Después de un recorrido por el pasillo, la persona descarga en envíos y regresa a surtir las órdenes nuevas. El carro no necesita conductor; pues se encuentra sobre rieles o tiene ruedas guía. Los grandes centros de distribución por catálogo usan esta técnica (vea la figura 11.71, p. 382).

Estación de empaque

Una vez que se han recogido todas las órdenes, deben empacarse para ser enviadas (vea la figura 11-72, p. 382). Las partes pequeñas se empacan en forma apropiada en cajas grandes y se envuelven de modo que no sufran daños durante el envío. Aunque solo se necesite escribir la dirección de los paquetes de productos grandes, siempre se requiere cierta preparación; por tanto, es necesaria una estación de empaque (vea la figura 11-72, p. 382). Muchas veces es muy deseable contar con una báscula en la estación de empaque (consulte las figuras 11-13a y 11-13b).

Contenedores de envío

La mayoría de los contenedores de envío son plataformas o cajas de cartón, pero a veces son del tamaño de una caja de camión (vea la figura 11-73, p. 383). Éstos se denominan *contendores de carga* y se envían por carretera en vehículos de plataforma y en barcos cargueros. Dichos contenedores son sellados por el remitente y no se abren hasta que los recibe el cliente.

Figura 11-65 Carro recolector (cortesía de Crown Equipment Corp.).

MANEJO DE MATERIALES A GRANEL

El manejo de materiales a granel es un tema muy especial. Merece mucha más atención de la que se le dará en este libro por razones de espacio. Material a granel significa gran cantidad de material (p. ej., el carbón de una mina que pasa por una planta de energía, madera en productos de papel del bosque a las plantas y molinos, mena de la tierra a los molinos, aceite del subsuelo a la gasolinera, y granos de los campos a los molinos y las plantas). La gran ventaja que tienen estas plantas y molinos a granel es que toda su lista de materiales está constituida por un elemento, o unos cuantos, y es posible concentrarse sólo en éste. El tamaño del equipo para manejar materiales a granel varía desde una bomba para una planta

Figura 11-66a Armazón de flujo (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

de petróleo hasta un sistema de transporte de varias millas de longitud. La lista siguiente de equipos de manejo de materiales a granel es muy reducida, pero si usted llega a una de dichas industrias tendrá acceso a la lista de equipo específico para ello, y pronto se familiarizará con el equipo en cuestión.

Transportadores de material a granel

Transportadores cóncavos sin fin

Estos transportadores tienen una concavidad y semejan un recipiente largo (vea la figura 11-74, p. 384). La industria del carbón usa este tipo de transportadores para trasladar el producto de la boca de la mina a los elevadores y a la pila de carbón. Las industrias de tala de bosques utilizan transportadores cóncavos para llevar los troncos de los ríos o lagos a los estanques de los molinos. Una observación es que los estanques de los molinos, que hacen flotar los troncos hacia aquéllos, son dispositivos de manejo de materiales.

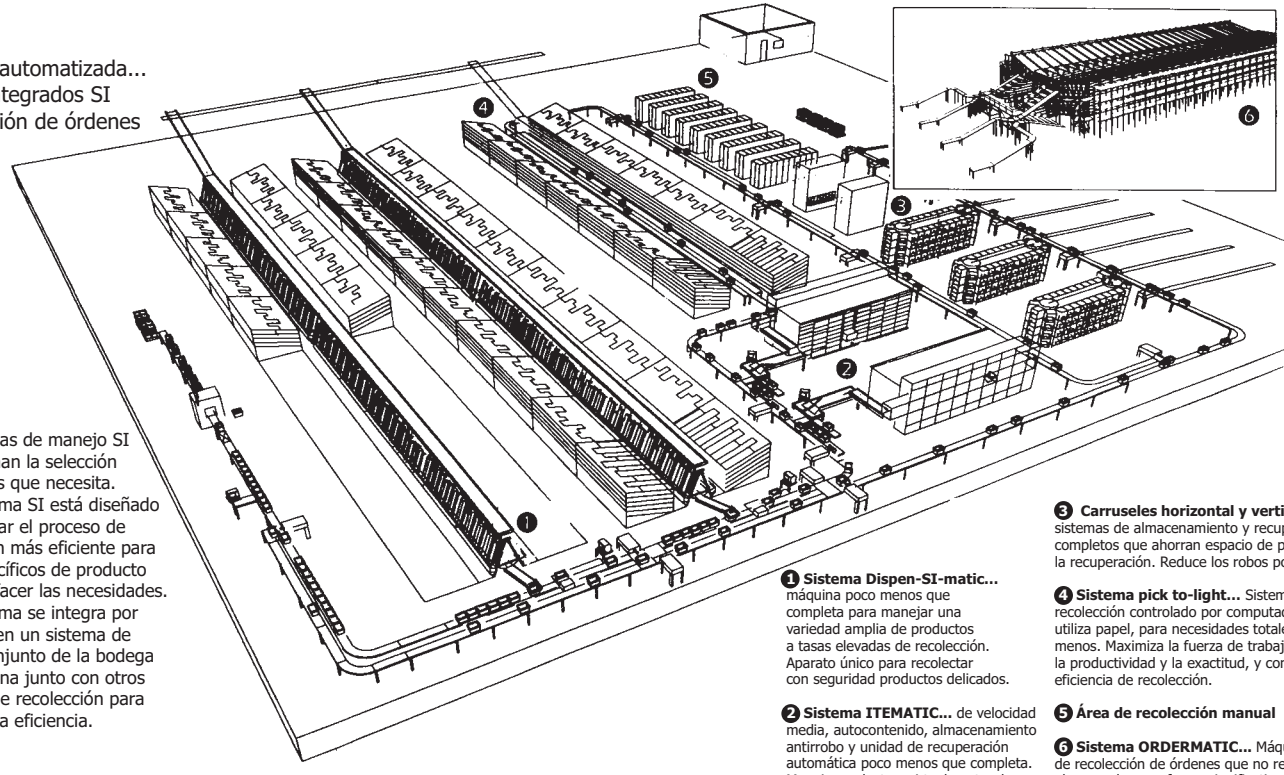
Transportadores de tornillo

Este tipo de equipo (también llamado de espiral) se analizó en el área de fabricación, pero su uso es mucho más intenso en plantas de procesamiento, como molinos de papel, panaderías y de alimentos (vea la figura 11-46).

Sistemas de distribución por vacío

Éstos son sistemas de tubos por los que se mueven partículas o polvo desde los carros tanque hasta las torres de almacenamiento y el equipo (vea la figura 11-75, p. 384). Es común que un fabricante de plástico utilice este sistema. Un sistema de vacío hace que la mano de obra

La bodega automatizada...
Sistemas integrados SI
para selección de órdenes



Los sistemas de manejo SI proporcionan la selección de órdenes que necesita. Cada sistema SI está diseñado para brindar el proceso de recolección más eficiente para tipos específicos de producto y así satisfacer las necesidades. Cada sistema se integra por completo en un sistema de control conjunto de la bodega que funciona junto con otros sistemas de recolección para optimizar la eficiencia.

❶ **Sistema Dispen-SI-matic...** máquina poco menos que completa para manejar una variedad amplia de productos a tasas elevadas de recolección. Aparato único para recolectar con seguridad productos delicados.

❷ **Sistema ITEMATIC...** de velocidad media, autocontenido, almacenamiento antirrobo y unidad de recuperación automática poco menos que completa. Maneja productos, virtualmente, de cualquier tamaño o tipo.

❸ **Carruseles horizontal y vertical...** sistemas de almacenamiento y recuperación casi completos que ahorran espacio de piso y aceleran la recuperación. Reduce los robos potenciales.

❹ **Sistema pick to-light...** Sistema de recolección controlado por computadora, que no utiliza papel, para necesidades totales o poco menos. Maximiza la fuerza de trabajo, incrementa la productividad y la exactitud, y conserva la eficiencia de recolección.

❺ **Área de recolección manual**

❻ **Sistema ORDERMATIC...** Máquina completa de recolección de órdenes que no requiere mano de obra y reduce en forma significativa el total de personal de bodega.

Figura 11-66b Bodega automatizada.

Figura 11-67 Recolección con tractor-camión (cortesía de Crown Equipment Corp.).

para manejar el material quede libre. Las torres de almacenamiento (silos) también son dispositivos de manejo de materiales.

Bombas y tanques

El petróleo, las bebidas y la mayoría de sustancias líquidas y semilíquidas se mueven de los vehículos tanque a los tanques de almacenamiento y a las estaciones por medio de bombas (vea la figura 11-76, p. 385). Las bombas tienen mangueras de llegada y salida, aparatos para

Figura 11-68 Montacargas (cortesía de Crown Equipment Corp.).

Figura 11-69 Transportadores rotatorios de bidores o transportador de carrusel horizontal (cortesía de White Storage & Retrieval Systems, Inc.).

Figura 11-70 Recolección en bodega vertical (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

Figura 11-71 Bodega vertical (cortesía de Yale Materials Handling Corp.).

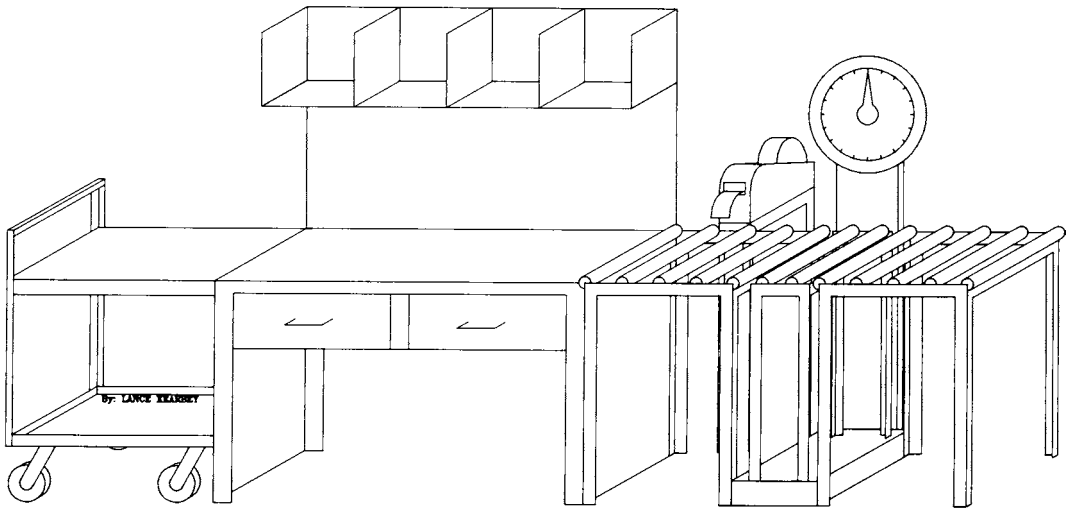


Figura 11-72 Estación de manufactura de empaque.

Figura 11-73 Contendores de envío (cortesía de Steel King Industries, Inc.).

medir el volumen, medidores del nivel de los tanques (éstos son dispositivos de manejo de materiales), y sondas para tomar muestras del producto para fines de control de calidad.

Sistemas de transportador

Si los productos a granel son cajas, se usa un sistema de transportadores diversificado (vea la figura 11-77). UPS, Sears Distribution, y J. C. Penney utilizan grandes sistemas de transportador para distribuir muchos paquetes.

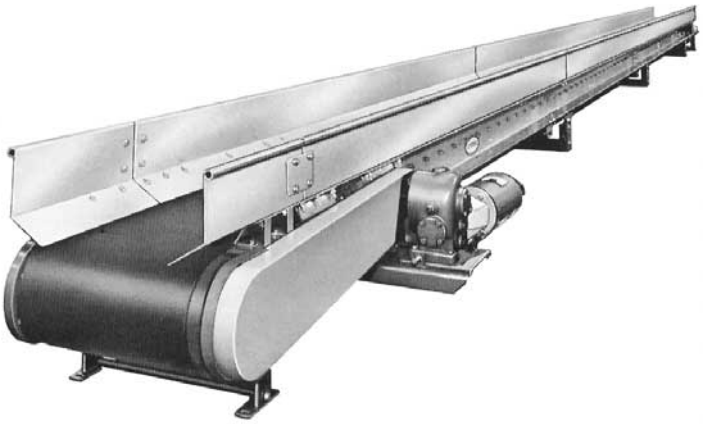


Figura 11-74 Transportador cóncavo sin fin, con fondo de rodillos (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

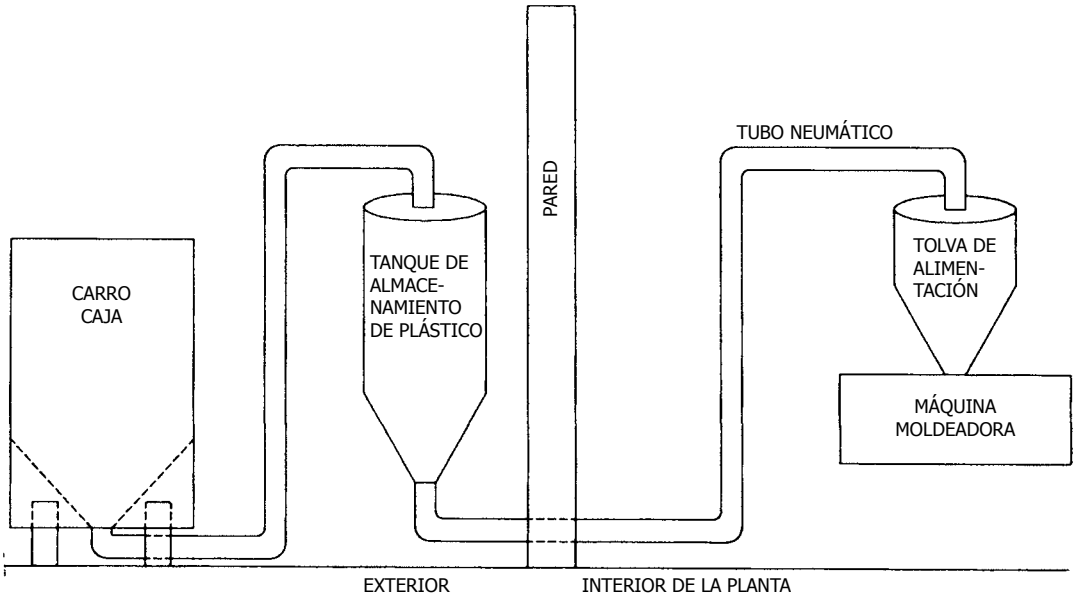


Figura 11-75 Sistema de distribución por vacío.

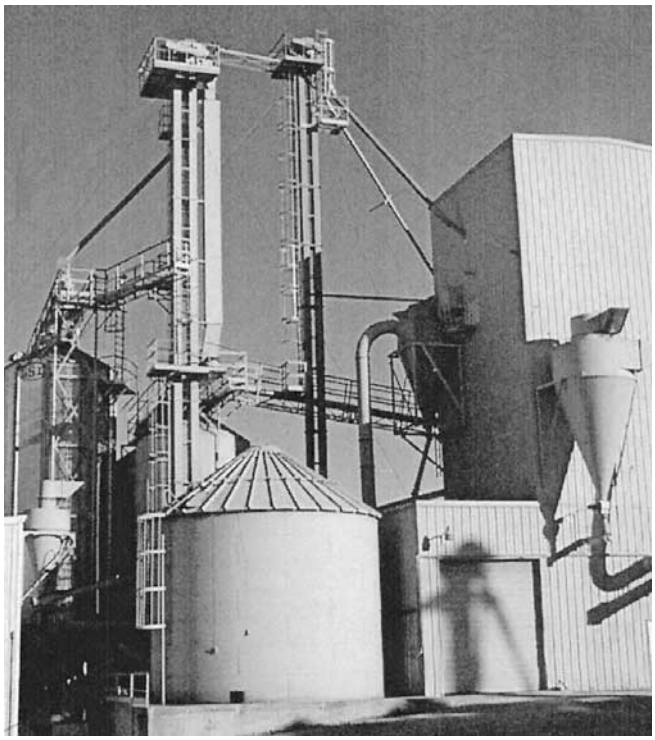


Figura 11-76 Bombas y tanques.

SISTEMAS INTEGRADOS POR COMPUTADORA PARA MANEJO DE MATERIALES

El estado del arte del manejo de materiales, los sistemas inteligentes y los de clase mundial transmiten la necesidad de mejorar a diario el desempeño del costo. Actualmente, los fabricantes libran una competencia mundial y los costos del manejo de materiales constituyen un componente tan grande del costo del producto, que necesita ser mejorarlo. Existe la tecnología para eliminar una gran parte de los costos del producto. El equipo para manejar materiales es tan importante como cualquier máquina que fabrique partes, y la tecnología moderna del equipo para manejar materiales ha seguido el ritmo del resto. Un elemento del equipo (en realidad un sistema completo) es el *sistema de almacenamiento y recuperación automáticos (SARA)*. El SARA obtendrá de manera automática el producto o las partes, o retirará el producto, lo llevará donde se requiera y ajustará el nivel de inventario en ambos extremos del movimiento (vea las figuras 11-78 y 11-79, pp. 387 a 389). Es común que los SARA sean muy grandes (60 pies o más) y ocupen áreas muy extensas (vea la figura 11-80, p. 390). El SARA está conformado por **1.** armazones, **2.** carros de carga, **3.** grúas de puente, **4.** centro de control computarizado, y **5.** sistemas de transportadores.

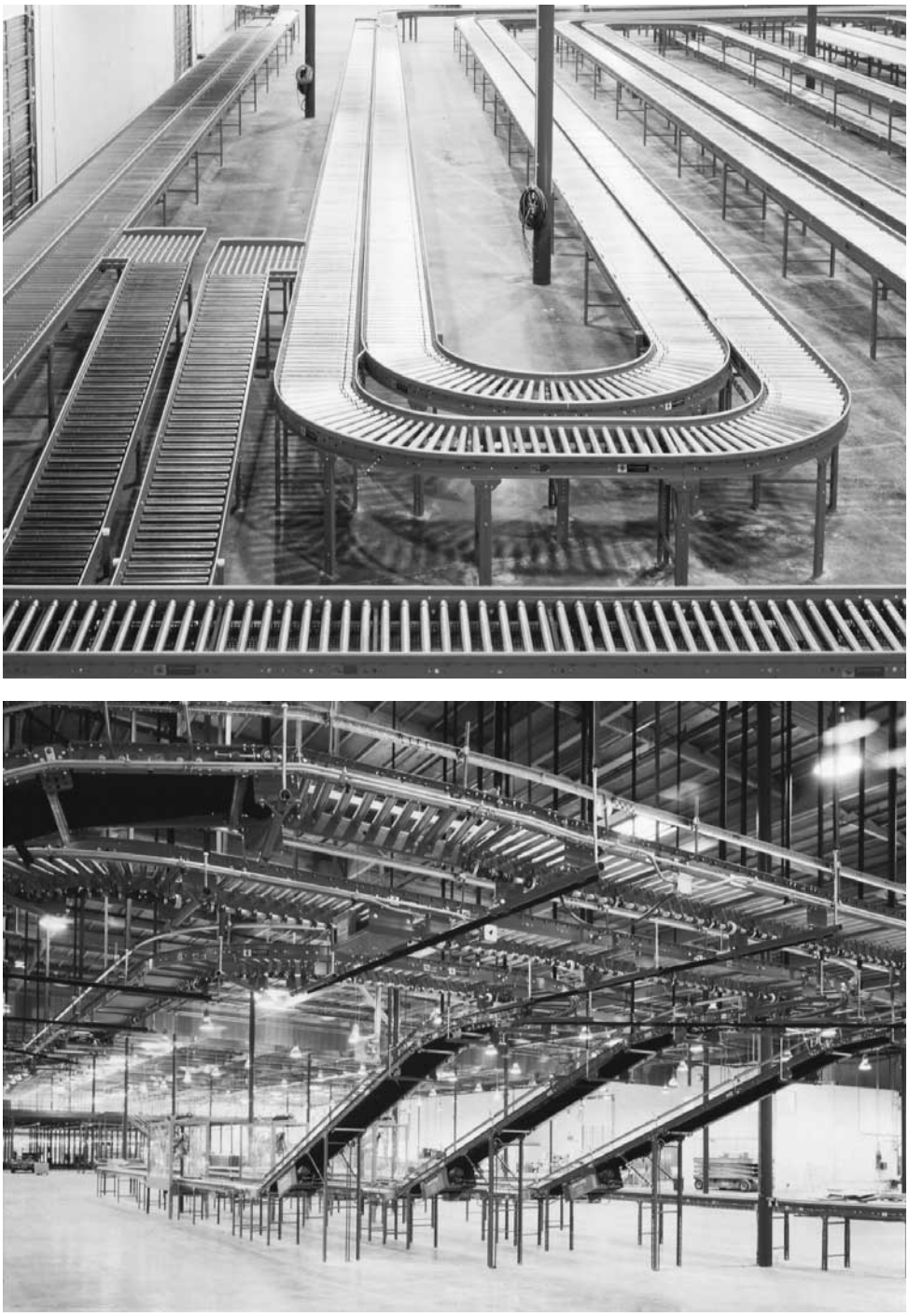


Figura 11-77 Manejo de cajas de cartón a granel (cortesía de Hytrol Conveyor Co.).

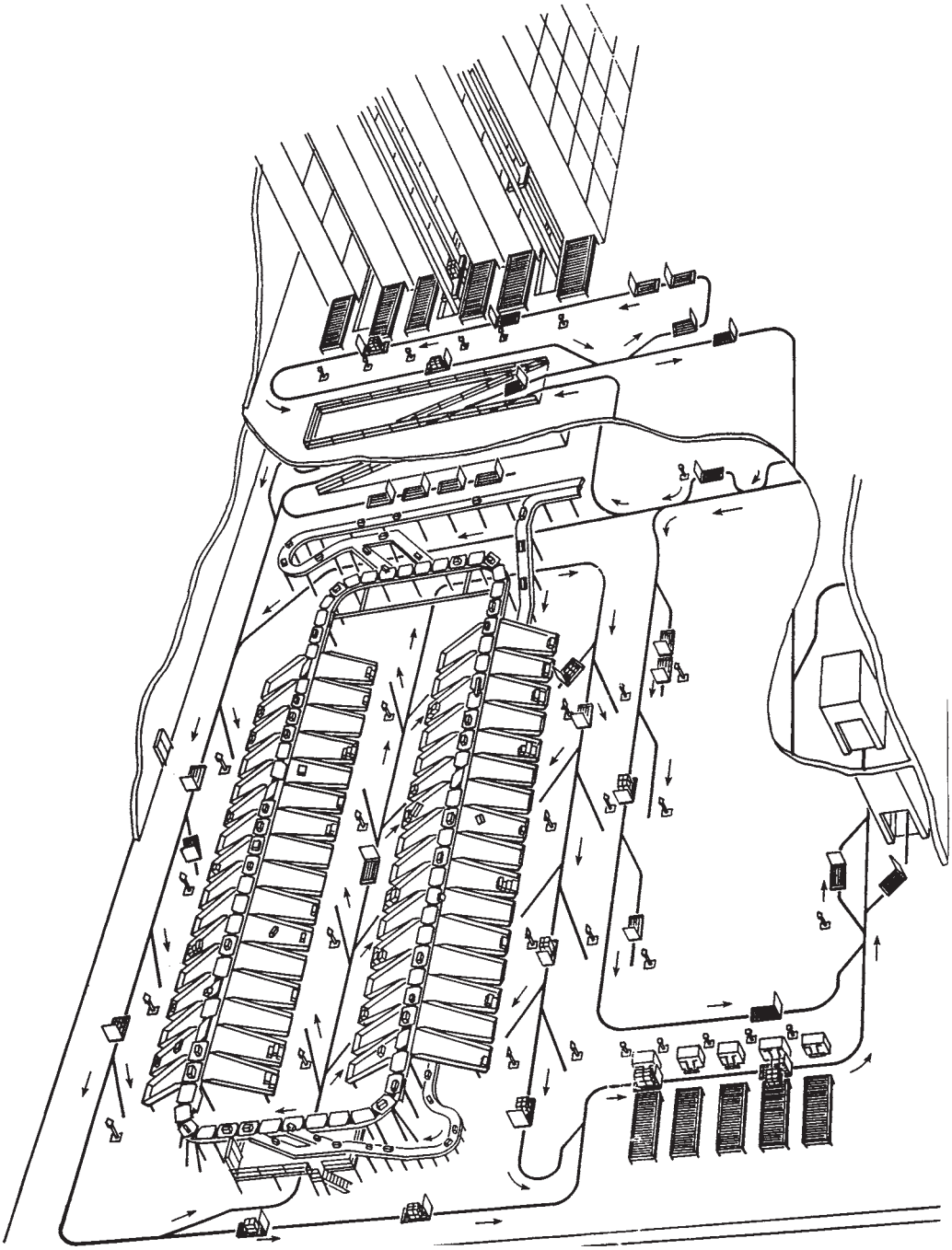


Figura 11-78 Sistema de almacenamiento y recuperación automáticos (SARA) (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

Figura 11-79 SARA (cortesía de Erman Incorporated).

Figura 11-79 (continuación) SARA (cortesía de Erman Incorporated).

Plataforma-plataforma y flujo directo

La integración de computadoras con sistemas de manejo de materiales también ha facilitado el concepto de plataforma-plataforma o flujo directo. Si bien la plataforma-plataforma es más aplicable a un centro de distribución, su mecánica puede aplicarse a cualquier ambiente en el que haya flujos de llegada y salida de materiales; y las instalaciones de manufactura no son la excepción. La plataforma-plataforma difiere del método tradicional de administración y control de inventarios "movimiento-almacén, movimiento-almacén" en la instalación. Si es posible especificar el destino último de una parte o producto que llegue a la instalación, entonces, su flujo a través de la instalación virtualmente no se ve interrumpido por intervalos de almacenamiento. Las instalaciones plataforma-plataforma mezclan y ordenan las operaciones. En ellas, los productos o partes de proveedores diferentes llegan en camiones. En lugar de llevarse a un almacén para recogerlos en algún momento posterior, los productos pasan a través de las instalaciones hasta el punto de uso, o en el caso de un centro de distribución, se llevan directamente al camión que espera para despacharlos a su destino final.

Los beneficios de la plataforma-plataforma incluyen:

- Reducción de costos de almacenamiento e inventario.
- Disminución de costos de procesamiento.
- Baja de los costos de manejo y mano de obra.

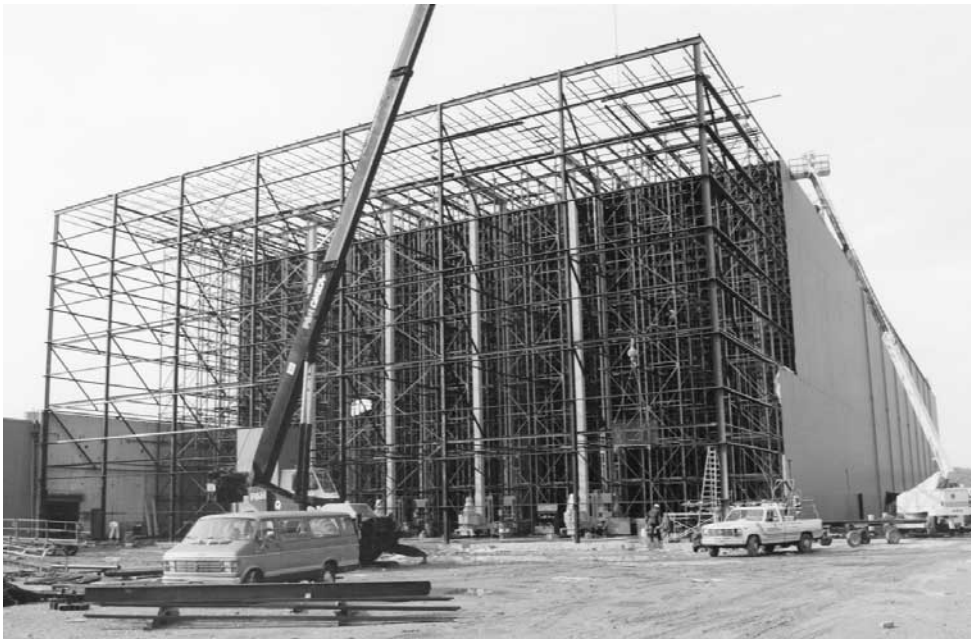


Figura 11-80 Inmueble en construcción para SARA (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

- Menor espacio para almacenes y bodegas.
- Mejora de la productividad.
- Flujo más eficiente del material.

Las figuras 11-81 y 11-82 muestran el esquema de un sistema plataforma-plataforma integrado por computadora.

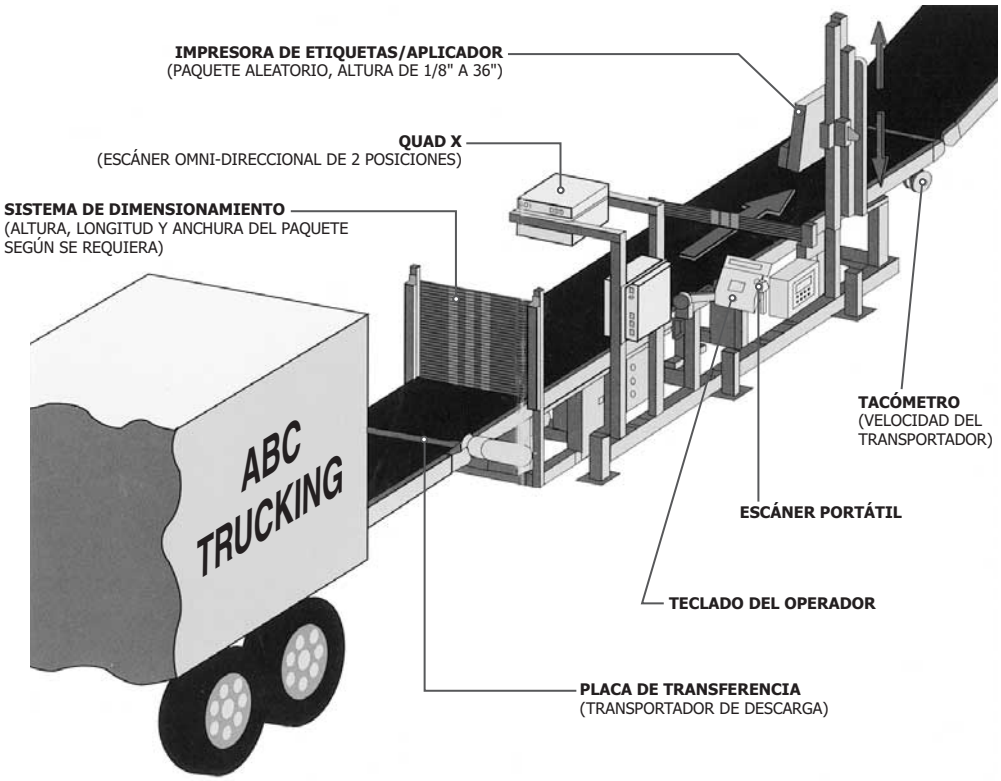


Figura 11-81 Sistema plataforma-plataforma integrado por computadora (cortesía de Accu-Sort Systems, Inc.).

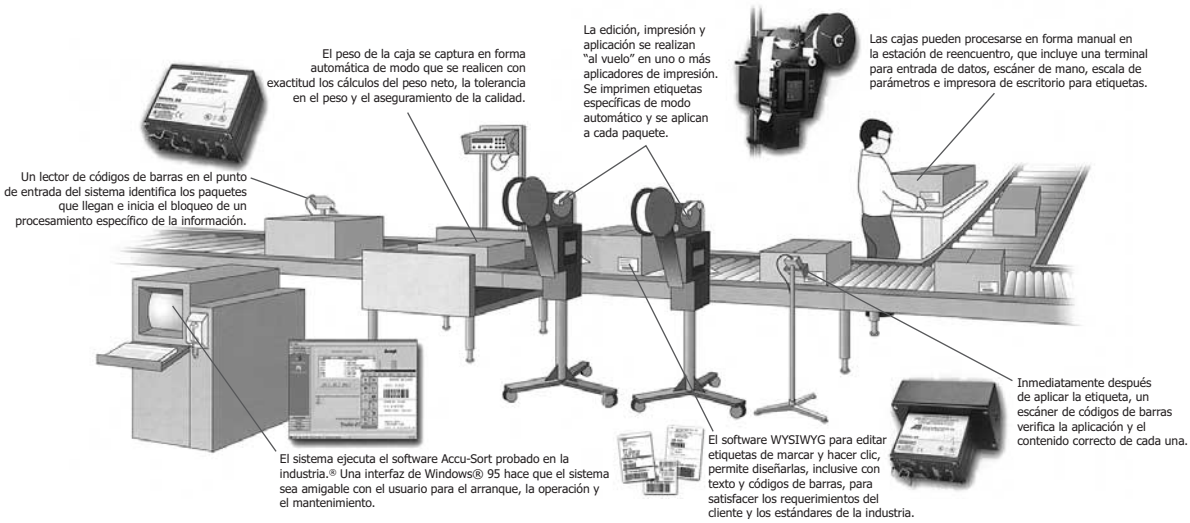
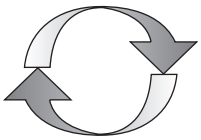


Figura 11-82 Sistema integrado por computadora para etiquetar y verificar (cortesía de Accu-Sort Systems, Inc.).

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son las cuatro clasificaciones básicas del equipo para manejo de materiales?
2. ¿Qué es un transportador neumático y por qué habría de clasificarse como equipo de trayectoria fija?
3. En el capítulo anterior se planteó un problema de manejo con la descarga de bolsas pesadas de material. ¿En este capítulo descubrió algún equipo que lo resolvería? Analice su solución.
4. ¿Qué es un transportador magnético? ¿Cuáles son sus ventajas y desventajas?
5. ¿Qué es un manipulador?
6. Explique el concepto de plataforma-plataforma. ¿Tiene algunas ventajas?
7. ¿Está de acuerdo con el enunciado: "Los sistemas automáticos para manejar materiales son la solución de todos los problemas de manejo de materiales"? Explique su respuesta.



PROYECTO EN LA PRÁCTICA

En las figuras siguientes se resumen los requerimientos de equipo de manejo de materiales para Shade Tree Grills Company.

Equipo de manejo de materiales

Tipo	Descripción	Cantidad
Cargador neumático de transportadores	Yale GP-DA/EA	1
Amortiguador para carga con transportadores	Yale GC-RG	3
Elevador de plataformas bajo para caminar	Yale MPB	2

Equipo de manejo de materiales

Modelo: Vehículo elevador neumático, I.C.E. Yale GP-DA/EA

General

Tipo	Cargador de transportadores neumático
Diseño del modelo Yale	GP-DA/EA
Rango de capacidad (lb)	16,500–36,000
Conducción	Estándar
Mast Alta-Visibilidad Yale	Estándar

Motor

Gas	GM 6.0L V8
Cilindros	8

Shade Tree Grills

Equipo de manejo de materiales

Modelo: Vehículo elevador de transportador, I. C. E. Yale GC-RG

General

Tipo	Amortiguador de carga con transportadores
Diseño del modelo Yale	GC-RG
Rango de capacidad (lb)	4,000–5,000
Conducción	Estándar
Yale Hi-Vis mast	Estándar

Motor

Propano	Yale FE
Cilindros	4

Shade Tree Grills

Equipo de manejo de materiales

Modelo: Transportador horizontal (fondo de rodillos) Hytrol RB

General

Tipo	Transportador de rodillos vivos
Rango de capacidad (lb)	15 por rodillo

Motor

Conducción	Manejo centralizado/reversible
HP	Disponible en 3/4 HP a 2 HP

Velocidad del transportador

Valor R	.645 minutos
Velocidad (pies/min)	15.5 pies/min

Shade Tree Grills

Equipo de manejo de materiales

Modelo: Vehículo de mano motorizado para plataformas Yale MPB

General

Tipo	Elevador de plataformas bajo para caminar
Diseño del modelo Yale	MPB
Rango de capacidad (lb)	4,000

Motor

Eléctrico	24 voltios

Shade Tree Grills

CAPÍTULO

12

Técnicas de distribución de oficinas y requerimientos de espacios

El proceso de distribución de oficinas es muy parecido al procedimiento de la distribución de la planta de manufactura. Muchas de las técnicas que se usan para estudiar el flujo del material se utilizan para examinar el flujo del papel, la información y el personal de una oficina. El diagrama de relación de actividades, la hoja de trabajo y el diagrama adimensional de bloques que se estudiaron en el capítulo 6 son aún más útiles en las distribuciones de oficinas porque hay menos variación en el tamaño de éstas que en el de los departamentos de manufactura. La recopilación y el análisis de datos será parte importante de la distribución de oficinas, según se estudió en los capítulos 2, 3 y 4. En vez de estudiar el flujo del material, el capítulo se centrará en el flujo de la información y los papeles de trabajo. El diseñador de la distribución de oficinas debe aprender y comprender los sistemas y los procedimientos de oficina con el fin de establecer la ubicación apropiada de éstas. Así, en este capítulo también se analizarán un sistema y la técnica de análisis de procedimientos.

Quiénes trabajan en la oficina, qué tareas se realizan en ella, cómo está organizada la gente en los departamentos y cómo se relacionan éstos uno con otro, son todas preguntas importantes en extremo, que deben ser recordadas cuando se haga la distribución de las oficinas. Un *organigrama* es una herramienta informativa que se utiliza para comunicar las relaciones entre los departamentos y su personal.

METAS DEL DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE OFICINAS

Las metas del diseño de la distribución de las oficinas ayudarán a que el diseñador mantenga el rumbo y le darán una forma de evaluación de las muchas alternativas de que dispone. Algunas de las metas más comunes son las siguientes:

1. Minimizar el *costo del proyecto*. Es importante tener conciencia del costo. El planeador de la distribución es responsable de recomendar instalaciones eficaces en cuanto a

costo. Comprar el escritorio más barato tal vez no sea eficaz en el costo si se necesitara reemplazarlo pronto. Hay instalaciones cuya buena apariencia es valiosa para la moral y las actitudes del cliente y los empleados. El mobiliario barato parece tener superficies ásperas que se suman al ruido. Ser conciente del costo significa que es deseable hacer rendir el dinero y estar dispuesto a buscar en dónde comprar las mejores instalaciones por ese dinero.

2. La *productividad* del empleado es importante. No es deseable que camine distancias largas, realice trabajos inútiles y emplee equipo lento, todo esto hace la vida desagradable. Se quiere promover el uso eficaz de los trabajadores.

3. Las distribuciones de oficinas deben ser *flexibles*. Algo es cierto: las distribuciones de las oficinas cambiarán. Los diseñadores deben tener la capacidad de expandirlas o reducirlas a ciegas. En una parte posterior de este capítulo se estudiará específicamente el mobiliario flexible.

4. Es costoso *limpiar* y *mantener* el espacio de oficinas. El tipo de distribución y el equipo que se compre influirán en este costo.

5. El *ruido* debe mantenerse al mínimo. En el nivel de ruido influye el efecto de las fábricas sobre las paredes, los pisos y los techos.

6. El *flujo de materiales* (papel y suministros), así como las distancias de flujo del personal, debe conservarse en el mínimo. Entre más lejos haya que caminar o llevar el material, mayor será el costo. El análisis correcto del flujo minimizará estas distancias.

7. Genere una *atmósfera placentera* en la cual trabajar, con el fin de alentar el orgullo y la productividad.

8. Minimizar las *distracciones visuales*. Los paneles y los muebles se utilizan para brindar oficinas, cuando menos, semiprivadas.

9. Crear un *área de recepción agradable*. Las primeras impresiones u opiniones acerca de la compañía se producen en la recepción de los visitantes. ¿Parece organizada, eficiente y pulcra? ¿O descuidada y desorganizada?

10. Los *costos de la energía* son afectados por la distribución y deben minimizarse donde sea posible. Las ventanas, las paredes cerradas, las puertas y otros parecidos influirán en dichos costos.

11. Cada empleado requiere *espacio de trabajo* y *equipo* adecuado. Las distribuciones de oficina deben enfocarse en las necesidades de todos los trabajadores de la oficina.

12. Velar por la *conveniencia* de los empleados. Los sanitarios, los casilleros (*lockers*) (o armarios del guardarropa), los comedores y las salas de espera deben estar ubicados de manera conveniente para impedir recorridos largos fuera de las oficinas.

13. Mirar por la *seguridad* de los empleados. Las dimensiones de pasillos, escaleras, máquinas y el agrupamiento excesivo ocasionan problemas de seguridad. El plan de la distribución debe tomar en cuenta los aspectos de seguridad de la oficina.

TIPOS DE ESPACIO DE OFICINAS

Las distribuciones de las oficinas varían en complejidad, desde los escritorios para estar de pie de los supervisores, que se ubican en medio de un departamento de producción, hasta un complejo de oficinas para los empleados que albergue cientos de ellas. El espacio de oficinas cuesta más por pie cuadrado que el de manufactura o distribución, por lo que su uso es muy importante. El costo medio por pie cuadrado de espacio de oficinas va de $75 para

las estructuras de baja altura (1 a 4 pisos), $78 para las de altura media (5 a 10 pisos), hasta $100 para los edificios de oficinas muy altos (11 a 20 pisos). Por supuesto, otros factores, como el tamaño de la ciudad y su localización, tendrán gran influencia en el costo. La ventaja de estar en los "suburbios" o en el "centro", o en áreas densamente pobladas, es que hay muchos otros negocios, transportes, comunicaciones y servicios en la cercanía. Las desventajas son la congestión y los costos. Muchas oficinas corporativas se ubican en centros grandes de negocios debido a la conveniencia de éstos, pero sus plantas de manufactura y oficinas de apoyo se ubican en áreas rurales donde los costos del espacio (y de la vida), por lo general, son menores. Nuestros análisis se han centrado en las distribuciones de las oficinas de las plantas de manufactura y no en las oficinas corporativas, pero las técnicas y los procesos son los mismos.

Oficinas de los supervisores

Las oficinas de los supervisores de las plantas de manufactura son buenos puntos de inicio para el estudio de éstas, debido a que son pequeñas y es posible desarrollar una "sensibilidad" al espacio en una etapa temprana. En la figura 12-1 se muestra una oficina portátil de 10×10 pies (3.05×3.05 metros), localizada en medio de un departamento de producción. Estas oficinas portátiles se mueven como una unidad grande. Hay unidades de aire acondicionado instaladas en una pared porque un área cerrada y pequeña pronto se volvería muy incómoda. Los supervisores de envíos, recepción y mantenimiento, así como los de producción podrían utilizar este tipo de construcción para sus oficinas.

Los supervisores deben ubicarse donde tengan acceso inmediato a sus empleados. Tener una línea de visión mejora la comunicación. Con cierta frecuencia, los supervisores también necesitan reunirse con los empleados en un ambiente de confianza, y este tipo de oficina proporciona la privacidad necesaria. Las medidas disciplinarias siempre deben tomarse en privado. Si no se dispone de oficinas privadas, deben proporcionarse salas de conferencias en las que se sostengan las reuniones privadas.

Algunos supervisores utilizan escritorios de pie que se ubican en medio de su área de producción. La figura 12-2 muestra una instalación como la descrita. También se proporciona un banco, que debe tener altura suficiente para permitir que el supervisor trabaje, ya sea parado o sentado.

Espacio abierto de oficinas

El espacio abierto de oficinas (vea la figura 12-3), también llamado *crujía*, consiste en salas grandes que albergan a mucha gente. Las oficinas abiertas son muy populares por las razones siguientes:

1. Las *comunicaciones* son más fáciles. Para hablar con alguien sólo se requiere levantar la cabeza y conversar. Para saber si alguien en la sala se encuentra disponible, basta mirar.
2. El *equipo* común es accesible para más personas.
3. Se requiere menos *espacio*, en comparación con las oficinas privadas.
4. Los costos de *calefacción, aire acondicionado* y *ventilación* se minimizan, así como los problemas, debido a que es más fácil trabajar en una sala grande que en la misma área dividida en oficinas privadas. Las paredes son el enemigo de la circulación adecuada. La construcción de oficinas abiertas elimina los muros.
5. La *supervisión* de las personas es más fácil en una oficina abierta. Las puertas y paredes hacen que la supervisión sea más difícil.

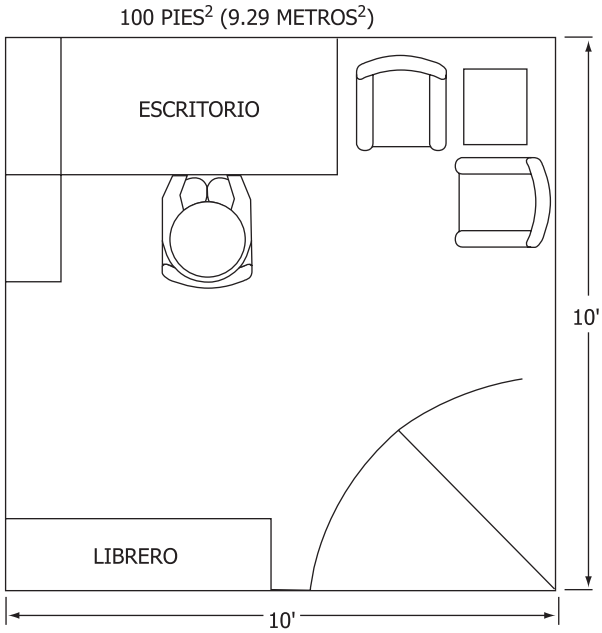


Figura 12-1 Oficina del supervisor (cortesía de Global Equipment Co.).

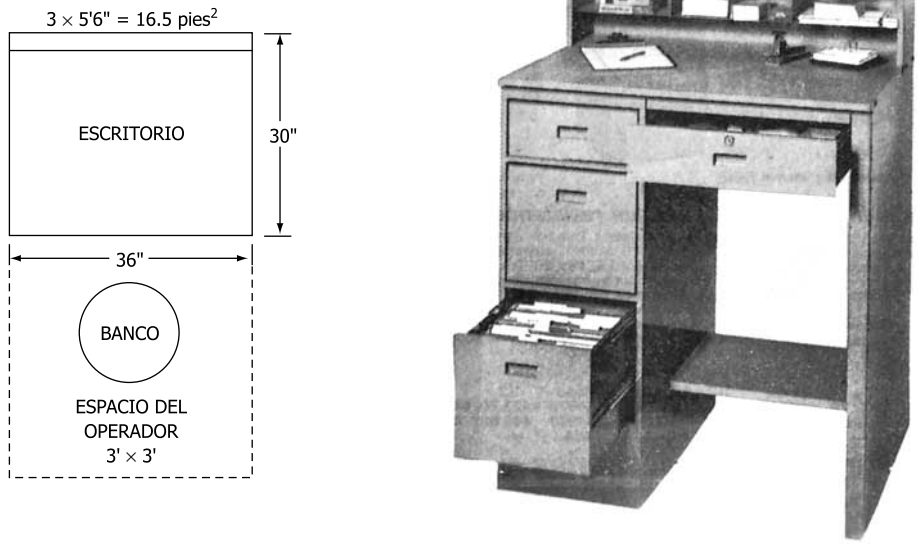


Figura 12-2 Escritorio de pie (cortesía de Global Equipment Co.).

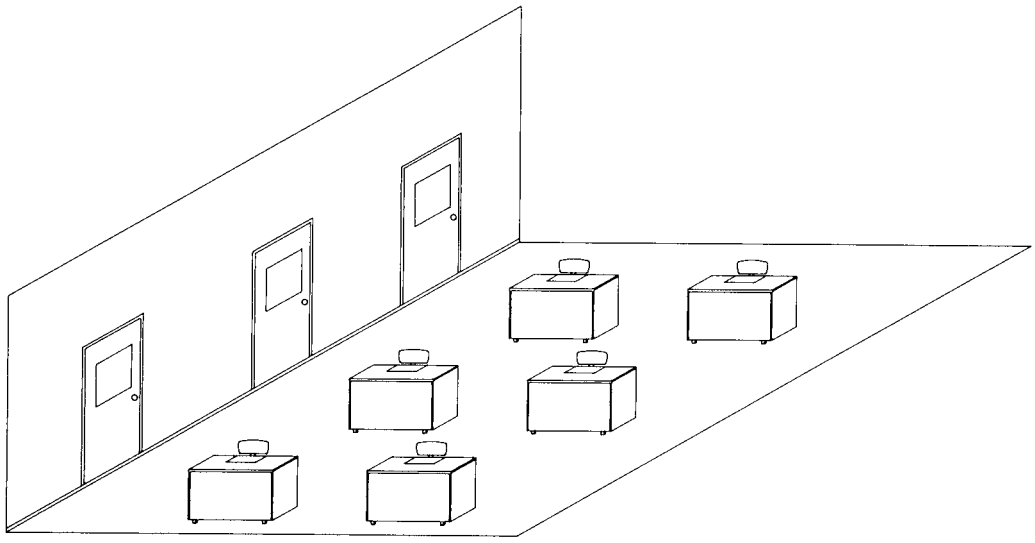


Figura 12-3 Oficina abierta (crujía).

6. Los *cambios de distribución* son más rápidos y menos costosos en las oficinas abiertas. Es más fácil mover los escritorios en una sala grande que negociar pasillos y puertas.
7. Los *archivos* y el *material escrito* son accesibles para todos, con lo que se requieren menos archivos y copias de revistas y periódicos.
8. Se reduce la *limpieza* y el *aspirado*.

Entre las desventajas del concepto de oficina abierta están las siguientes:

1. Es probable que la *falta de privacidad* sea el problema más grande en las oficinas abiertas. Los compañeros interrumpen, de manera muy inocente, el pensamiento o la concentración en una tarea difícil que requiere reiniciarse después. Si las personas están demasiado cerca y accesibles entre sí, las conversaciones ajenas al negocio consumirán grandes cantidades de tiempo. Este proceso se denomina *pláticas de café*. Disminuye la productividad y la calidad, y debe desalentarse.
2. El *ruido* es otro problema en las oficinas abiertas. El equipo que produce la mayoría del ruido puede aislarse para disminuirlo, pero las oficinas abiertas son más ruidosas que las privadas.
3. El espacio de las oficinas abiertas no tiene el *estatus* que conllevan las privadas. Es posible que se pierda el reclutamiento de un buen empleado potencial debido a la calidad del espacio de oficinas.
4. La *confidencialidad* de cierto trabajo requiere espacio privado.

La selección de un espacio de oficinas abiertas o privadas depende de sopesar las ventajas y las desventajas para cada puesto. Cada compañía tiene tanto oficinas abiertas como privadas, pero una decisión importante es quién obtiene una privada que no puede tomarse sin planeación del alto nivel.

Oficinas convencionales

Las oficinas convencionales (vea la figura 12-4), también conocidas como *oficinas de muros fijos*, son lo opuesto a las abiertas. Una oficina convencional tiene mobiliario independiente, cuatro paredes y una puerta. Es posible asignar a más de una persona una oficina, y para la mayoría de diseñadores de distribuciones no queda claro en qué punto se convierte en una oficina abierta; sin embargo, si se realiza más de una función en dicho espacio, se trata de una oficina abierta. Una *función* es la contabilidad, compras, personal, ingeniería, procesamiento de datos, ventas o producción. Las distribuciones de oficinas convencionales son más antiguas que las de las abiertas, pero ambas podrían mejorar. Una combinación de los conceptos de oficina abierta y las ventajas de la convencional permitirá que se obtenga lo mejor de ambas técnicas. Esto se llamará el *concepto de oficina moderna*.

La oficina moderna

El concepto de diseño de la oficina moderna (vea las figuras 12-5 y 12-6) adapta a la medida las áreas de trabajo individuales para satisfacer las necesidades de la organización. La oficina moderna brindará espacio privado donde sea necesario, sin afectar de manera negativa el costo de las instalaciones, el mantenimiento y la accesibilidad. La figura 12-5 muestra oficinas modernas y la 12-6 su distribución común. Observe los equipamientos:

1. Los paneles no llegan ni al techo ni al piso, lo que permite que el aire circule.

   Los paneles están acojinados con materiales suaves para atenuar el ruido.

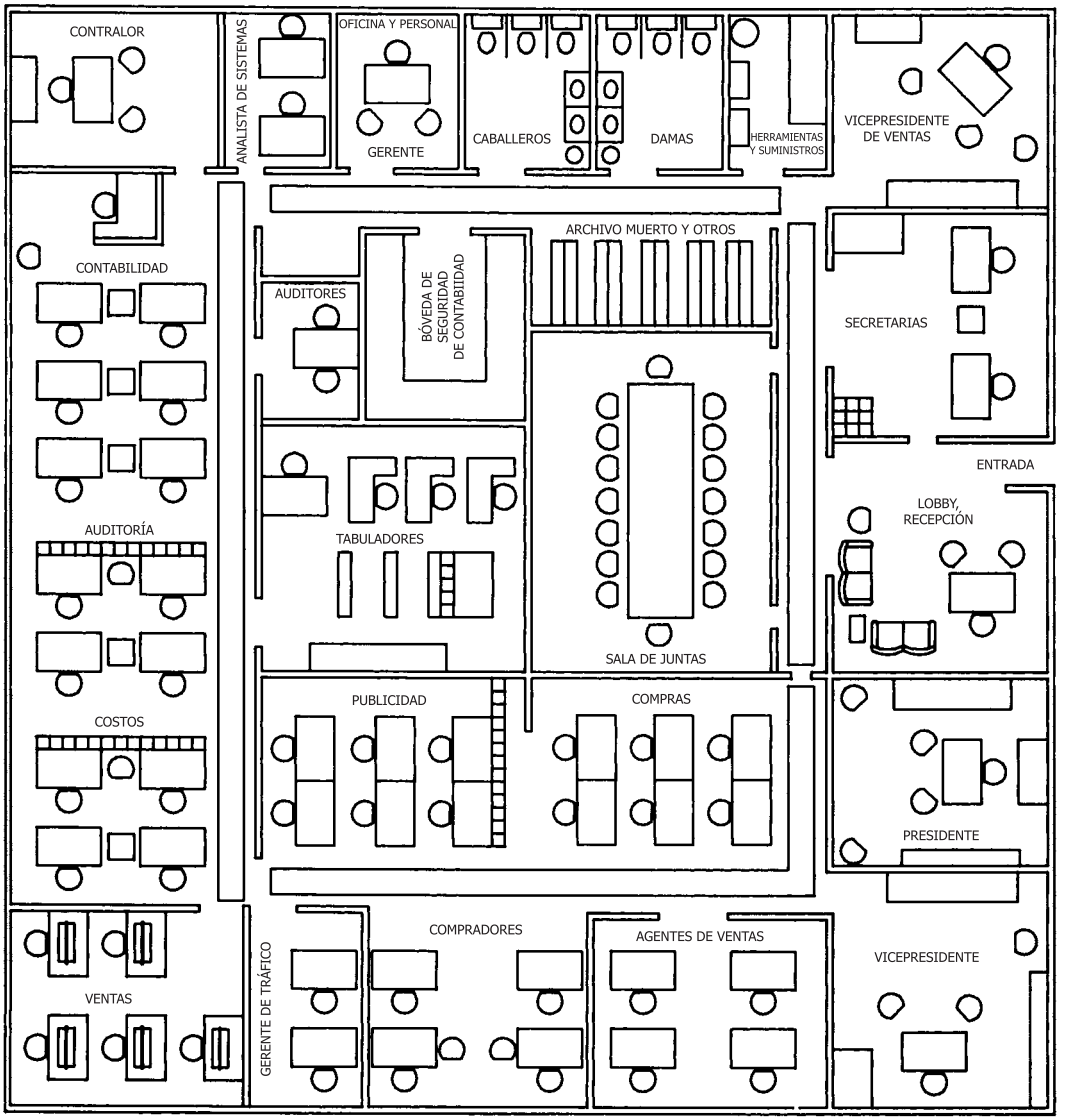


Figura 12-4 Oficinas convencionales (cortesía de Global Equipment Co.).

2. Los gabinetes están construidos dentro de los paneles para hacer un mejor uso del espacio sobre los escritorios y las mesas.
3. Las mesas están construidas en los paneles para ahorrar en costo y espacios.
4. Las gavetas bajo las mesas permiten que se guarden suministros igual que se haría con un escritorio.
5. Las líneas para utilerías (eléctricas, computadora y teléfono) están dentro de los paneles. Esto dará a la oficina una apariencia de limpieza y también mejora la seguridad.

Figura 12-5 Oficinas modernas (cortesía de American Seating).

Las oficinas modernas pueden ser acomodadas y reacomodadas para satisfacer las necesidades cambiantes de la organización. Las organizaciones desarrollan equipos para resolver problemas. Aunque éstos y la conformación de los equipos cambien continuamente, las necesidades de oficina deben satisfacerse. La oficina moderna es muy flexible. Cuando la compañía se muda, las paredes también.

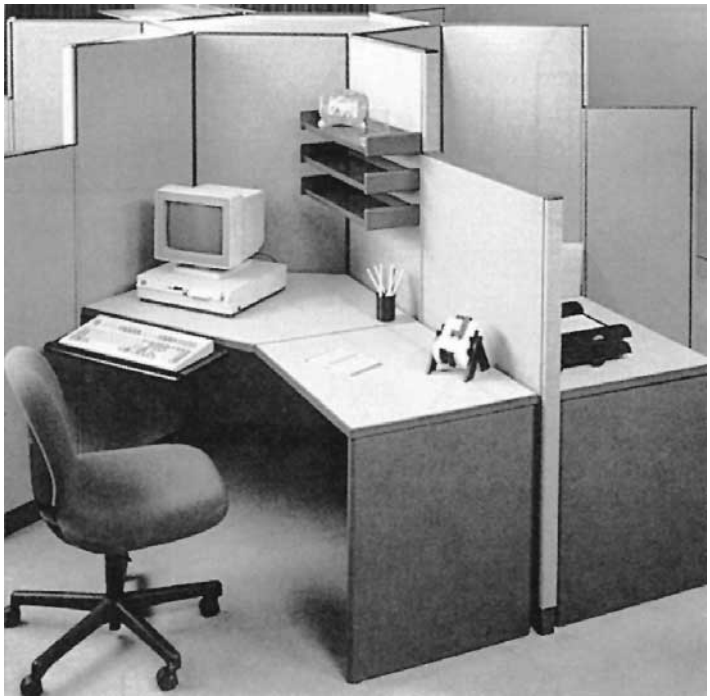


Figura 12-5 (continuación) Oficinas modernas (cortesía de American Seating).

Las oficinas modernas se han descrito mediante varios términos, tales como *oficinas en cúmulo, oficinas de paisaje* y *oficinas de estancia libre*. Cualquiera que sea el vocablo, el propósito de las técnicas de diseño de la oficina moderna es eliminar las desventajas de las abiertas y de las tradicionales, y alentar la eficacia en cuanto al costo en el largo plazo.La figura 12-7 muestra una comparación entre el espacio de oficinas convencional y moderna.

Las oficinas modernas deben ser agradables a la vista, convenientes para el usuario, cómodas y eficientes. Las justificaciones van de las relaciones laborales, pasando por la opinión de los clientes, hasta tener conciencia del costo.

REQUERIMIENTOS Y CONSIDERACIONES ESPECIALES

Al diseñar oficinas se deben recordar los puntos siguientes:

1. La *privacidad* es requerida por algunos empleados de oficina. Los problemas con el personal deben tratarse en privado. Muchos asuntos financieros son confidenciales. La planeación corporativa considera muchas alternativas que nunca llegan a ocurrir, por lo que se necesita privacidad para evitar rumores dañinos.

2. El *almacenamiento en el punto de uso* (vea la figura 12-8) es un principio de distribución que requiere que los suministros se guarden cerca del punto donde se utilizan. Los

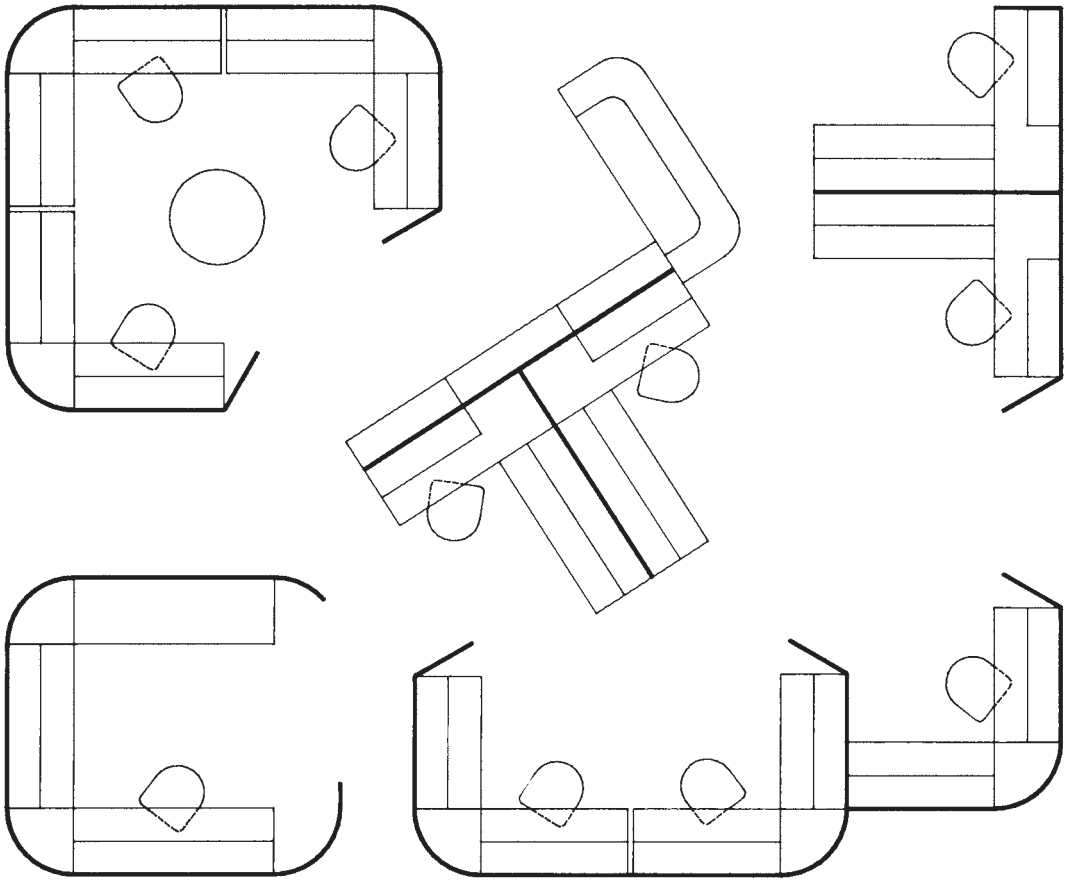


Figura 12-6 Distribución de una oficina moderna.

suministros de oficina varían de un departamento a otro. Los suministros de ingeniería no son los mismos que los de contabilidad; los formatos de personal no se parecen a los de compras. Por tanto, cada oficina de un departamento específico necesita un cuarto de suministros o un área controlada. En las oficinas pequeñas, se usaría una gaveta de escritorio, pero en las instalaciones grandes, se necesitan áreas grandes controladas para manejar dichos implementos de valor.

3. Es frecuente que las oficinas en las plantas de manufactura tengan un *segundo piso.* Es común que se construya una oficina dentro de la planta. Los techos de una planta de manufactura con frecuencia tienen 20 pies (6.82 metros), o más, de altura, por lo que si se usara sólo un piso se desperdiciaría el cubo del edificio. Una buena utilización de éste sería construir un segundo piso. Las funciones del departamento que se ubique en el segundo nivel no deben requerir la presencia de visitantes del exterior o mucho recorrido durante el día. Los departamentos de personal, compras y ventas tienen muchos visitantes, por lo que se encontrarían a nivel del piso. Los de ingeniería, contabilidad, investigación de mercados y captura de datos u órdenes (telefónicas) no tienen tantos visitantes, así que podrían ubicarse en el segundo piso.

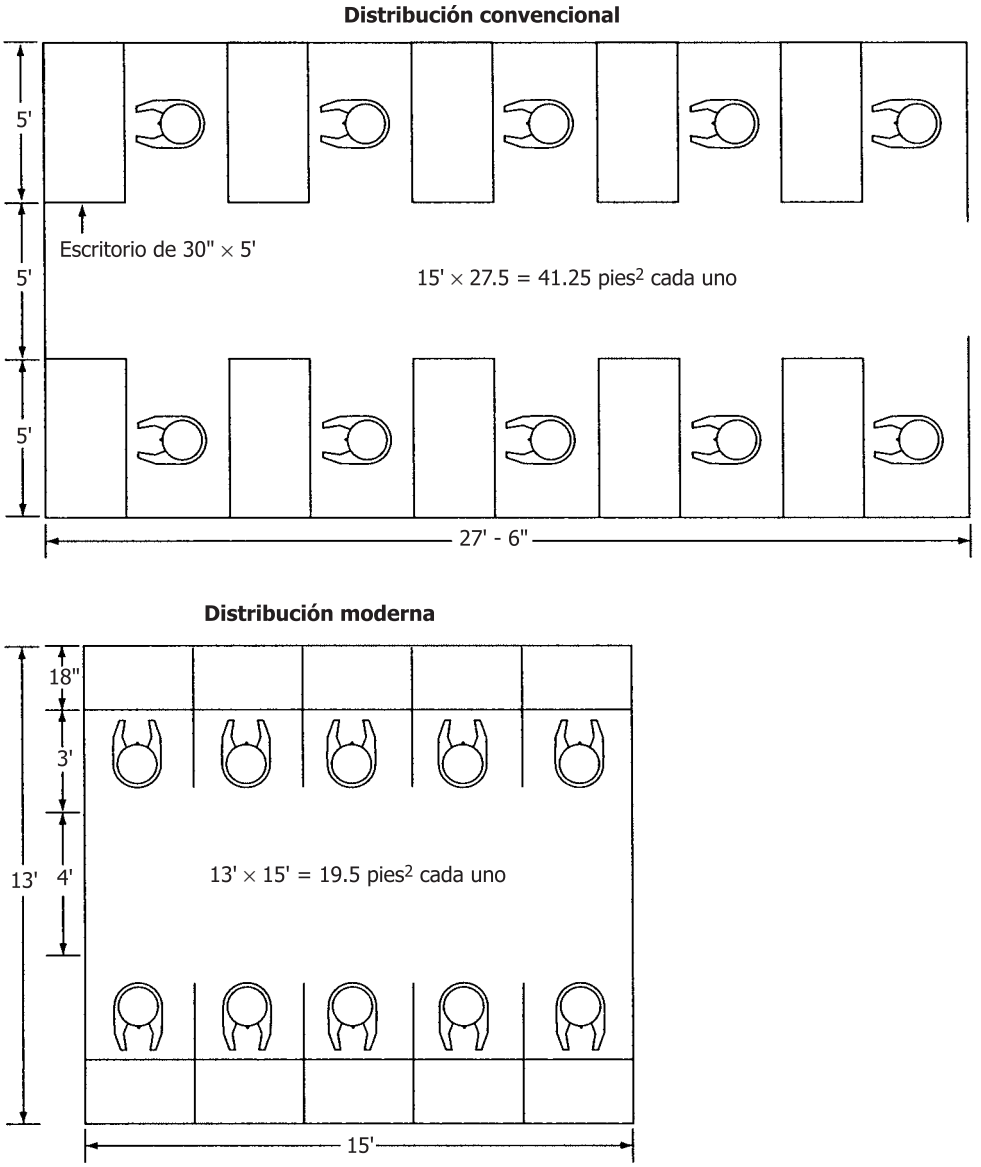


Figura 12-7 Espacio convencional *versus* espacio moderno —datos para 10 estaciones de manufactura de oficinistas.

Nota: Con una renta de $25.00 por pie cuadrado al año, el espacio convencional costaría $5,625.00 anuales, es decir, habría un ahorro de $4,687.50 por año.

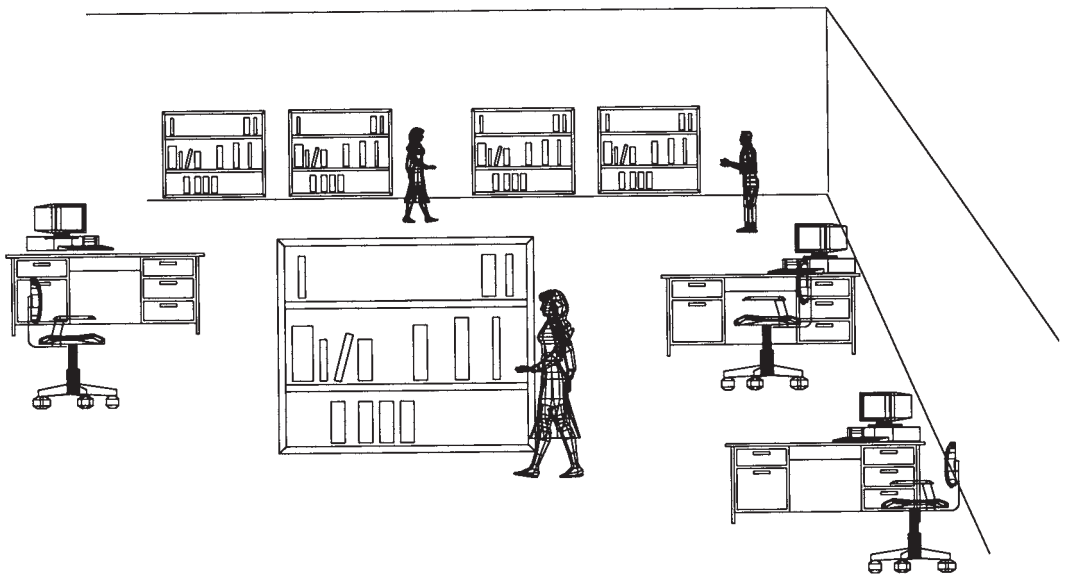


Figura 12-8 Almacenamiento en el punto de uso.

4. *¿Centralizada* o *descentralizada?* ¿Dónde colocar las oficinas? La mejor respuesta es *donde se necesite.* Por lo general, la pregunta es *¿una oficina grande al frente del edificio (centralizada), o varias pequeñas distribuidas por la planta?* Las ventajas de una oficina centralizada son las siguientes:

   a. Área única de construcción de oficinas, inclusive aire acondicionado y otras instalaciones en común, así como una pared que aísla.
   b. La conveniencia de tener a todo el personal de oficinas en una sola área.
   c. Es conveniente para los visitantes del exterior, que no distraen la producción.
   d. Archivos y equipos en común.

Las desventajas de una oficina centralizada son que no es conveniente para ciertas operaciones de algunos departamentos, tales como recepción, envíos, mantenimiento, almacenes, bodegas y producción, todos los cuales tienen relaciones importantes con las oficinas.

5. La *flexibilidad* de la oficina es una consideración importante desde las etapas más tempranas de la construcción. Al construir una oficina debe tomarse en cuenta, de inmediato, su expansión. Cimientos y columnas para un segundo piso serán mucho más baratos si se instalan desde el principio. Si se tienen que romper pisos y paredes con el fin de construir un segundo piso, la oficina nunca se expandirá hacia arriba. Las paredes también deben ser flexibles; la mayoría de las oficinas crecerá algún día. Por esta razón, son mejores (más flexibles) los canceles y los paneles que las paredes. También es importante la flexibilidad de las instalaciones. Se usan varios métodos para darles flexibilidad.

   a. Los *pisos Q* semejan lámina corrugada que se pone en el piso antes de que se haga el colado del concreto para el piso de la oficina. El piso Q permite el paso de las líneas eléctricas, de computación y telefónicas, así como otras parecidas, a cada cua-

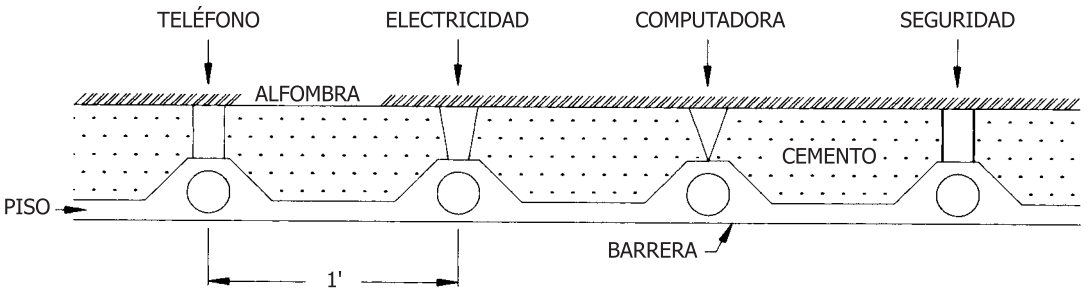


Figura 12-9 El piso Q.

tro pies, hasta cubrir la longitud total de la oficina (vea la figura 12-9). Si un escritorio se moviera, las conexiones anteriores se retirarían y se haría otras nuevas.

b. Los *plafones para el techo* y los paneles huecos alientan la conservación de los alambres y los cables de las instalaciones ocultos en lo alto del techo. Se bajan en cualquier sitio.

6. Las *salas de juntas* se usan para brindar privacidad en las áreas de oficinas abiertas. La privacidad es necesaria para los supervisores que llevan a cabo sesiones disciplinarias, o para los vendedores con sus clientes. La cuestión importante es que se disponga de privacidad en las distribuciones de oficinas abiertas. Las salas de consejo son espacios para juntas especiales en los que se reúne el consejo de directores de una corporación pública y, por tanto, debe situarse fuera para que haya privacidad y reducción del ruido.

7. Las *bibliotecas* son áreas de necesidades especiales en las que se guardan los libros y las revistas de referencia. Ésta es una idea para reducir costos. En lugar de que se compren libros para los individuos, que los ponen en sus libreros, la biblioteca los adquiere y los conserva en un área central conveniente. La suscripción al *Wall Street Journal* cuesta $200 por año. Si 10 administradores comparten un ejemplar se ahorrarán $1,800 al año. Asimismo, el periódico queda a disposición de todos. Las revistas profesionales, manuales y muchas otras publicaciones aumentan el valor de una biblioteca de referencia.

8. Un *área de recepción* es el centro de los visitantes. La puerta principal de la compañía es el lugar por donde entran los visitantes. Una recepcionista les dará la bienvenida y les preguntará cómo los puede ayudar. Mientras la recepcionista busca asistencia en otros lados, los huéspedes necesitan un lugar donde esperar. Esta área debe ser cómoda y atractiva para crear una opinión favorable sobre la empresa. La mejor forma de causar una buena impresión es no hacer esperar a los visitantes. Pero los visitantes que no tienen cita quizá necesitan esperar, por lo que dicha área debe equiparse con sillas, escritorio, teléfono, revistas, e información sobre la empresa. Las muestras son medios excelentes por los cuales se presentan los productos nuevos o existentes a los visitantes, y se permite que éstos visualicen la forma en que se usarían.

9. Los *sistemas telefónicos* son cada vez más automáticos, pero siempre se necesita cierta atención personal. Si el volumen de las llamadas que llegan no es demasiado grande, la recepcionista manejará el teléfono y el área de recepción. El equipo telefónico requiere

espacio. El tablero central y el conmutador tal vez sean lo suficientemente grandes como para tener su cuarto propio, pero bien pueden ser remotos y ocultos a la vista.

10. Las *copiadoras y las máquinas de fax* son elementos principales del equipo. Éste necesita material especial, instrucciones de operación y un ambiente limpio. Como cualquier otro elemento del equipo, se necesita una distribución de la estación de manufactura. Las copiadoras pequeñas son parte de una oficina pequeña, pero los centros de reproducción grandes constituyen departamentos por sí mismos. También requieren áreas de almacenamiento, zonas de trabajos en proceso y lugares para almacenar el trabajo terminado.

11. Tratamos con palabras mayores con el correo que llega o es enviado. El de una empresa llega a una *sala de correo* y se ordena. Después, se distribuye o lo recogen los empleados. El que se envía requerirá estampillas, pesarlo, a veces, doblar las inserciones, meter a los sobres y cerrarlos. Éstos se llaman *correos en masa*. Se dispone de equipo especial para hacerlo en forma automática, por lo que la distribución de la sala del correo también necesitará distribución del equipo.

12. Las compañías crean y reciben muchas clases de documentos. Los ordenamientos legales obligan a las empresas a conservarlos durante varios años, lo cual crea la necesidad de *áreas para guardar archivos*. Asimismo, muchas personas requieren planos, procesamiento de información, órdenes de compra, y otras cosas parecidas. El archivo central reduce la necesidad de sacar muchas copias. Las computadoras y las microfilmadoras reducen los requerimientos de espacio y la configuración de las zonas de archivo, sin embargo, éstas aún son necesarias.

13. Un *grupo de procesamiento de textos* consiste en trabajadores de oficina o secretarias en un área central que recibe trabajo de muchas fuentes. Ésta es una alternativa a los trabajadores privados y, en general, es un uso más eficiente de las personas.

14. Los *pasillos* son grandes consumidores de espacio. En las oficinas abiertas, los más pequeños son de 3 a 5 pies, y los más grandes de 6 a 8. El tránsito durante las horas pico determinará sus dimensiones.

15. Cada día más equipo y sistemas son controlados por *computadora*. Las *supercomputadoras* y las unidades centrales de procesamiento se mantienen en salas especiales con temperatura y humedad controladas. También es importante la seguridad de las computadoras.

16. Otras áreas y consideraciones que se debe tener en mente son: a) iluminación, b) bóvedas de seguridad, c) estandarización y d) expansión.

TÉCNICAS DE DISTRIBUCIÓN DE OFICINAS

Las técnicas utilizadas para crear la distribución de las oficinas son las siguientes:

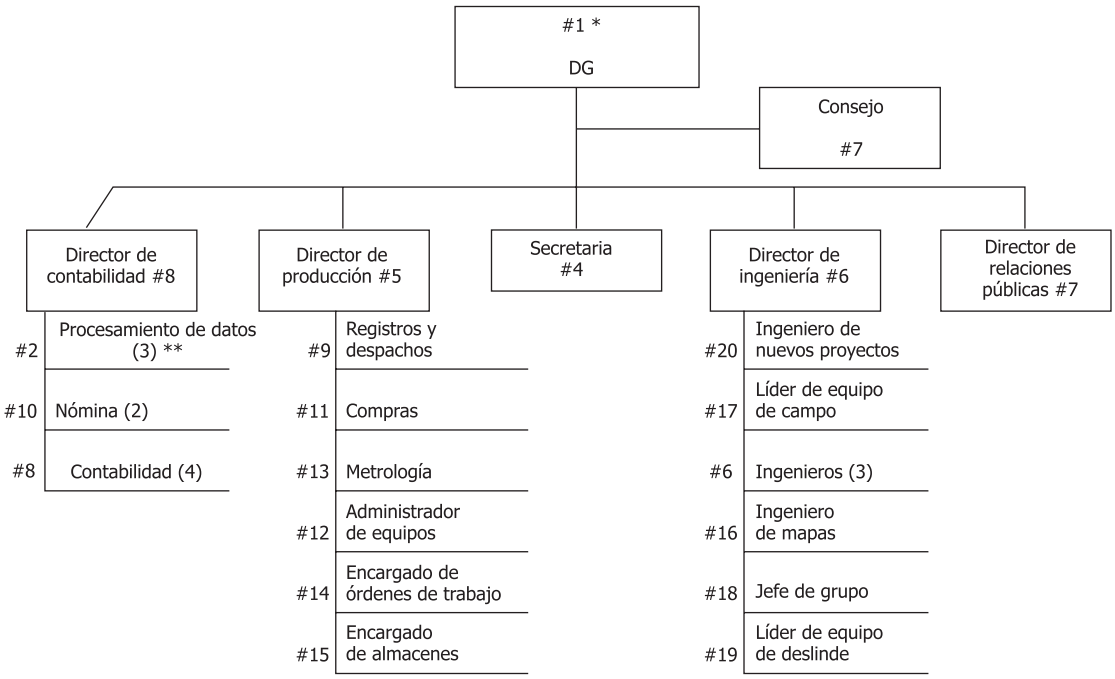
1. Organigrama.
2. Diagrama de flujo (análisis de sistemas y procedimientos).
3. Diagrama de fuerza de las comunicaciones.
4. Diagrama de relación de actividades.
5. Hoja de trabajo de actividades.
6. Diagrama adimensional de bloques.

7. Determinación del espacio de oficinas.
8. Distribución maestra detallada.

El análisis de las necesidades organizacionales, el flujo de papeleo, quién trabaja con quién y las relaciones entre departamentos, conducen a un plan maestro. Cada técnica se describirá en detalle en esta sección. Siga los procedimientos descritos y el resultado será una distribución tanto eficiente como eficaz.

Organigrama

El organigrama (vea la figura 12-10) da al planeador de la distribución una idea del tamaño de las oficinas. El organigrama dice cuántas personas trabajan en cada área y el nivel que tienen en la empresa. Cada departamento debe tomarse en cuenta para que su espacio sea determinado. El número total de personas es la mejor indicación del tamaño de oficina que se requiere. Se obtiene una estimación gruesa del espacio de oficinas que se necesita multiplicando el número de personas que requieren espacio por 20 pies cuadrados (1.86 metros cuadrados) para cada una. Por ejemplo, el tamaño total de una oficina para 100 personas sería de 20,000 pies cuadrados (1,858 metros cuadrados). Ésta es una buena herramienta de planeación inicial, pero sólo debe usarse para determinar el espacio total de oficinas, no el de los departamentos.



* Números de posición (#1)
** Número de personas en esta oficina (3)

Figura 12-10 Organigrama —Electric power co-op.

Quién trabaja en la oficina, quién reporta a quién, cuántas personas están en el departamento, cuáles funciones se realizan y otras preguntas similares encuentran respuesta en el organigrama. Otra forma de calcular el espacio, es la determinación del número de personas en cada nivel de la compañía.

Empleados	*Pies cuadrados*
Gerentes generales y altos ejecutivos	200–300
Gerentes	150–250
Supervisores	100–200
Contadores	75–150
Ingenieros	100–150
Encargados	75–100

Diagrama de flujo

Hacer diagramas de los procedimientos es muy parecido a elaborar la gráfica del flujo de procesos, pero en lugar de seguir el camino de un producto, se sigue el de cada copia de un formato. A veces, se siguen muchos formatos (como en el ejemplo de la figura 12-12), porque uno ocasiona la creación de otro, y así sucesivamente. Para analizar el flujo del papel se desarrolló la técnica del *diagrama de procedimientos*, o gráfica del flujo. Con el fin de ayudar a explicar los pasos estándar, se adoptaron símbolos estándar (símbolos de la gráfica del proceso), como los que se aprecian en la figura 12-11.

La figura 12-12 ilustra el procedimiento de la orden de compra (OC). Las personas o departamentos se enlistan a un lado. Comienza con quien hace la requisición de algo (envío de una solicitud de compra) y las aprobaciones que obtiene, se crea la orden de compra y se envían copias a otras cuatro áreas (se llena una copia con la requisición en un archivo abierto en compras). Una copia es para quien solicita, otra va a contabilidad, otra a recepción y una más es para el vendedor que proveerá el artículo. Una vez que la orden es enviada y recibida, se adjunta a una copia de la lista de empaque del vendedor y se hace un reporte de recepción. A los archivos tienen que llegar cinco copias de la orden de compra, dos de las requisiciones, cuatro de los reportes de recepción, una lista de empaque y una factura.

La figura 12-12 muestra el movimiento de los formatos de la orden de compra por la oficina, lo cual tiene un efecto en la distribución de ésta. Cuando todos los formatos se analicen, las relaciones entre los departamentos quedarán más claras y podrán desarrollarse códigos de relación. Si se hiciera una gráfica de origen-destino resultaría una distribución más eficiente. La gráfica origen-destino no se incluye en esta sección, pero tal vez sea la mejor herramienta para optimizar el flujo de los papeles de trabajo.

Diagrama de fuerzas de las comunicaciones

Otra forma de determinar las relaciones en la oficina es el *diagrama de fuerzas de las comunicaciones* (vea las figuras 12-13 y 12-14). El método del diagrama de procedimientos (diagrama de flujo) requiere hacer el análisis y el diagrama de todo el flujo de los papeles de trabajo. Esto podría ser un trabajo tan grande que quizá sean necesarios varios años de análisis. Los resultados del diagrama de flujo son valiosos en extremo, pero para las necesidades de la distribución de oficinas, el diagrama de fuerzas es mucho más rápido.

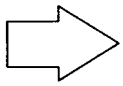
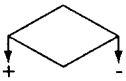
Operación	=		Ejecuta alguna función, como relacionar, revisar, llenar órdenes, introducir datos, etcétera.
Formato	=		Genera un formato o un documento. Operación especial. Si se usara más de una copia, se mostraría otra página atrás de la primera, una por cada copia.
Archivo	=		Archivar documentos. Se coloca una "T" dentro del triángulo para indicar un archivo temporal o de seguimiento, y una "P" para otro permanente o terminado.
Transporte	=		Movimiento físico de algo, como material (no papeles de trabajo).
Decisión	=		Sí/no, ir/no ir, en cualquier punto en que la dirección del flujo pudiera cambiar.
Aprobación	=		Se usa cuando se requiere la aprobación de la administración.
Flujo de los papeles de trabajo	=		Muestra el flujo de la información.
Teléfono	=		Muestra el flujo de la información a través del teléfono o la computadora.
Procesamiento	=		Se usa para el procesamiento en computadora.
Retraso	=		Indica un retraso en el proceso, por ejemplo la espera de aprobación.

Figura 12-11 Símbolos del diagrama de flujo.

El diagrama de fuerzas de las comunicaciones requiere que los planeadores de las oficinas hablen con cada persona involucrada en la oficina y averigüen con quien trabajan más. Cada persona con quien se hable será el centro del diagrama, y las personas con quienes se trabaja estarán en la periferia (vea la figura 12-13). El número de líneas que conecten a la persona sujeto con las periféricas indicará la importancia de la relación como sigue:

1. Si hay *cuatro líneas* es absolutamente necesario que estas dos personas se encuentren cerca. Este código debe reservarse para la gente que se comunica varias veces en una hora, lo cual será el código A de las relaciones.

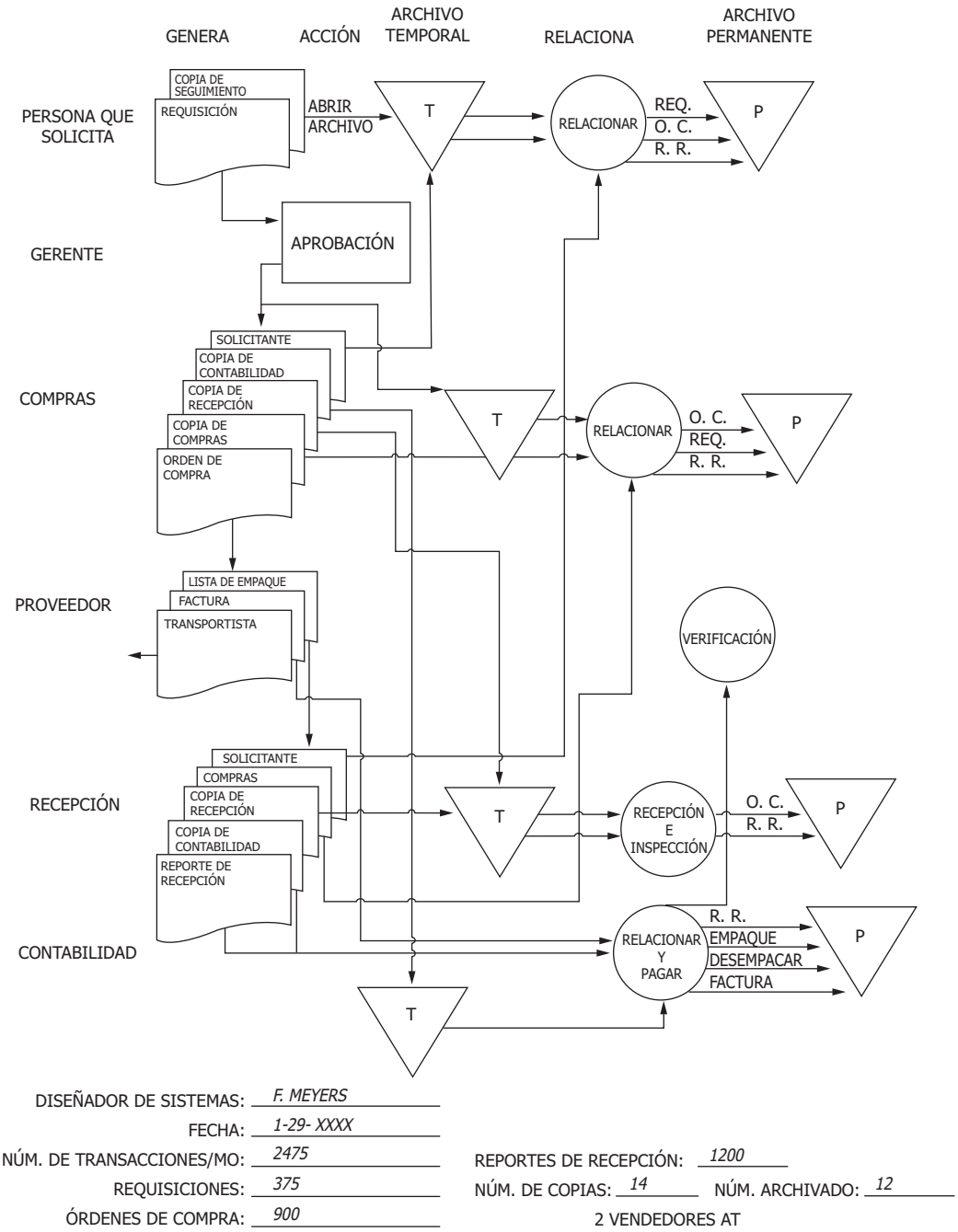


Figura 12-12 Sistema de pago de la orden de compra.

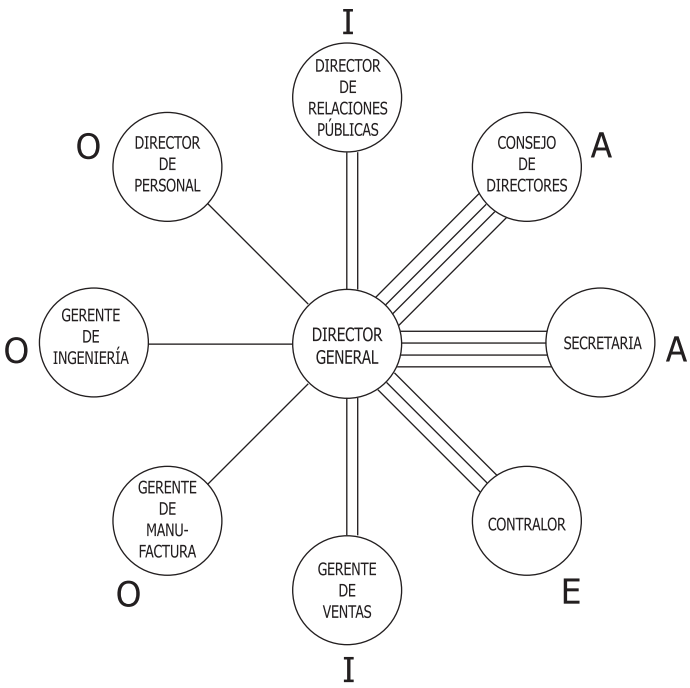


Figura 12-13 Diagrama de fuerzas de comunicaciones —Director general.

2. Si hay *tres líneas* es de especial importancia que las dos personas estén cerca la una de la otra. Este código debe reservarse para personas que necesitan comunicarse al menos una vez cada hora. Esta relación tendrá un código E.
3. Si hay *dos líneas,* es una relación importante y las dos personas deben estar cerca. Esta relación se reserva para quienes trabajan juntas varias veces en un día. El código de esta relación será I.
4. Si hay *una línea,* se trata de una relación ordinaria y se reserva para gente que interacciona sobre una base cotidiana. Una relación así será de código O.

La figura 12-13 es el diagrama de fuerzas de una persona. Como se trata de una oficina de 22 personas, se necesitarán 22 diagramas de fuerzas de comunicaciones. Éstos diagramas deben resumirse en otro más grande de 22 círculos con todas las líneas entre cada uno. La figura 12-14 muestra un ejemplo de lo anterior. Observe las líneas largas. Ésos son departamentos que necesitan estar cerca. Las personas o departamentos que tengan el máximo contacto fuera de la oficina se encuentran en la periferia del diagrama; quienes tengan mucho contacto dentro de la oficina se sitúan en medio de éste. Imagine que las líneas entre los individuos u oficinas son bandas elásticas o fuerzas que originan una tensión entre ellos. Por tanto, entre más grande sea el número de líneas, más intensa es la fuerza que tira de las oficinas para acercarlas. Las relaciones que se establezcan aquí se llevarán al diagrama de relación de actividades.

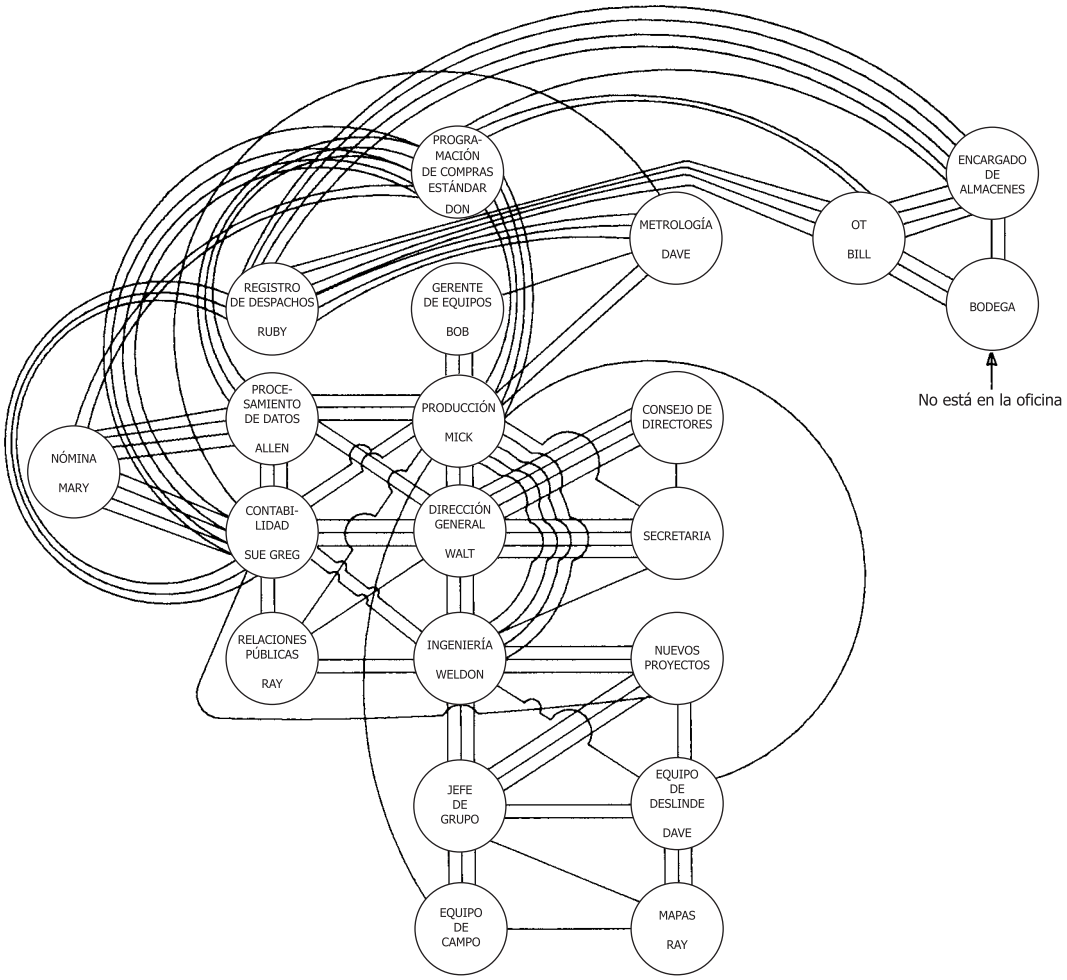


Figura 12-14 Diagrama de fuerzas de las comunicaciones —Electric power co-op.

Diagrama de relación de actividades

En el capítulo 6 se estudió el diagrama de relación de actividades. En pocas palabras, muestra la relación de cada departamento o persona con cada uno de los demás departamentos o personas. Se usa un solo código ($A\ E\ I\ O\ U$ o X) para denotar la importancia de la relación (vea la figura 12-15). En la distribución de las oficinas, el diagrama de fuerzas se emplea para establecer estos códigos tan importantes: puede hablarse a cada departamento o persona incluida en el estudio y hacer que cada quien registre los códigos. La figura 12-15 se desarrolló a partir del diagrama de fuerzas de las comunicaciones (vea la figura 12-14).

COMPAÑÍA: *ELECTRIC POWER COOP*

INGENIERO: *MEYERS*

FECHA: *1 / 31 / XX*

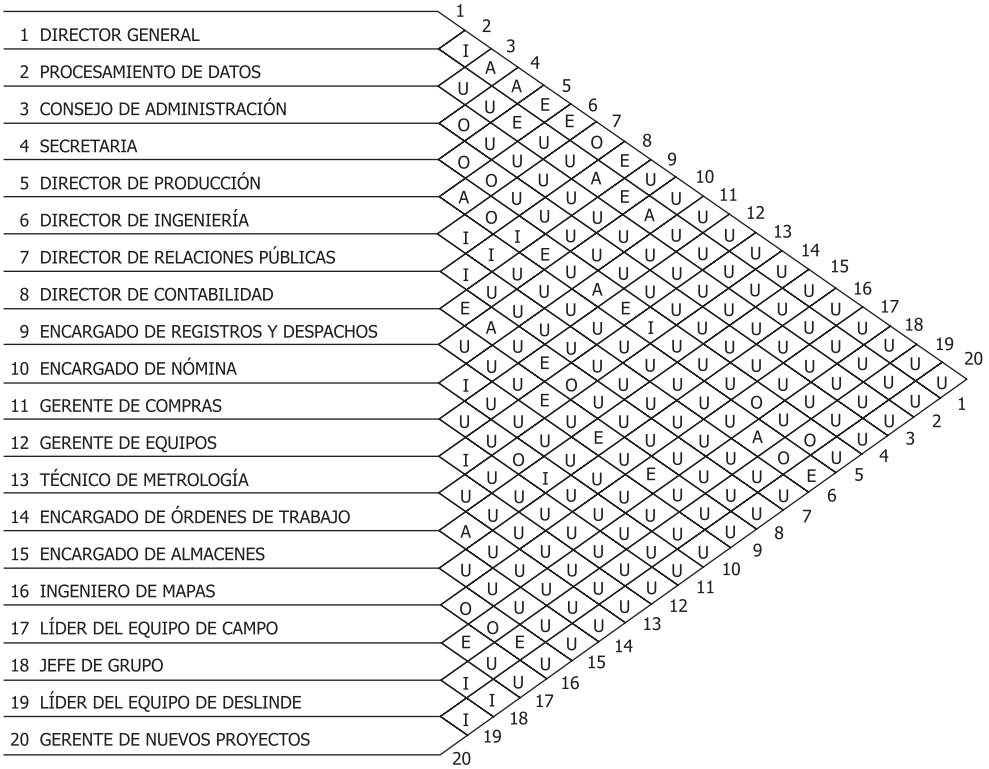


Figura 12-15 Diagrama de relación de actividades.

Hoja de trabajo de actividades

En el capítulo 6 también se estudió la hoja de trabajo de actividades. Los datos en la figura 12-16 se tomaron de la gráfica de la figura 12-15 para crear 20 bloques individuales. Esta hoja de trabajo pasa del diagrama de relación de actividades al diagrama adimensional de bloques.

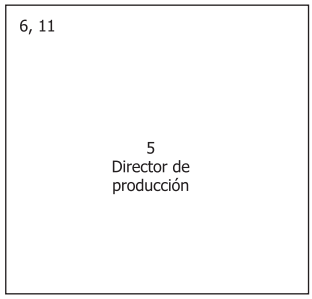
Diagrama adimensional de bloques

Para crear un diagrama adimensional de bloques hay que cortar 20 trozos cuadrados de papel de unas 2 pulgadas por lado. En la hoja de trabajo, iniciar con el renglón 1, se coloca el número de renglón y el nombre del departamento en medio del bloque (vea la figura

ACTIVIDAD		GRADO DE CERCANÍA					
		A	E	I	O	U	X
1.	DIRECTOR GENERAL	3, 4	5, 6, 8	2	7		
2.	PROCESAMIENTO DE DATOS	8, 10	5, 9	1	—		
3.	CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN	1	—	—	4		
4.	SECRETARIA	1	—	—	3, 5, 6		
5.	DIRECTOR DE PRODUCCIÓN	6, 11	1, 2, 9, 12	8, 13	4, 7, 17, 19		
6.	DIRECTOR DE INGENIERÍA	5, 18	1, 20	7, 8	4, 19		
7.	DIRECTOR DE RELACIONES PÚBLICAS	—	—	6, 8	1, 5		
8.	DIRECTOR DE CONTABILIDAD	2, 10	1, 9, 12	5, 6, 7	13		
9.	ENCARGADO DE REGISTROS Y DESPACHOS	—	2, 5, 8, 13, 14, 17	—	—		
10.	ENCARGADO DE NÓMINA	2, 8	—	11	—		
11.	GERENTE DE COMPRAS	5	—	10, 14	15		
12.	GERENTE DE EQUIPOS	—	5, 8	13	—		
13.	TÉCNICO DE METROLOGÍA	—	9	5, 12	8		
14.	ENCARGADO DE ÓRDENES DE TRABAJO	15	—	11	—		
15.	ENCARGADO DE ALMACENES	14	9	—	11		
16.	INGENIERO DE MAPAS	—	19	—	17, 18		
17.	LÍDER DEL EQUIPO DE CAMPO	—	9, 18	—	5, 16		
18.	JEFE DE GRUPO	6	17	19, 20	16		
19.	LÍDER DEL EQUIPO DE DESLINDE	—	16	18, 20	5, 6		
20.	GERENTE DE NUEVOS PROYECTOS	—	6	18, 19	—		

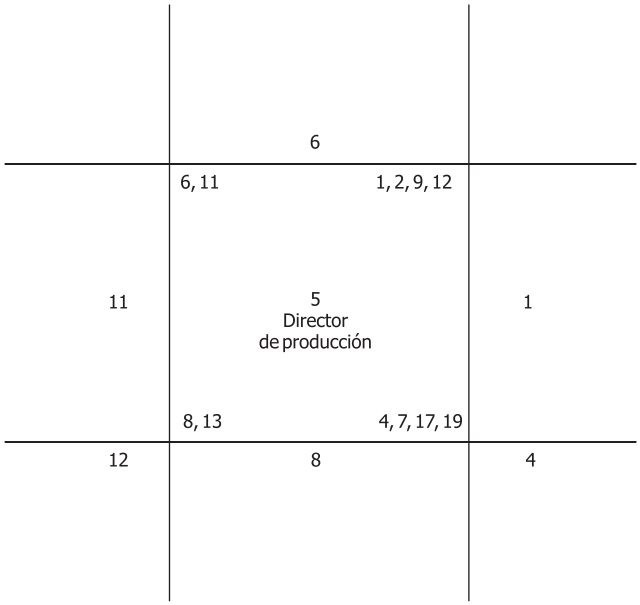
Figura 12-16 Hoja de trabajo para el diagrama de relación de actividades —Electric power co-op.

12-17). Después, comenzando en la esquina superior izquierda, se sitúan las relaciones A que tenga este departamento con otros. Por ejemplo:



Ahora, se colocan las relaciones E en la esquina superior derecha, en la parte inferior izquierda las de código I, y en la inferior derecha las O. Se hace igual con los 20 bloques.

Al terminar los 20 bloques, hay que encontrar aquél con las relaciones más importantes (códigos A y E), y colocarlo en medio del escritorio.



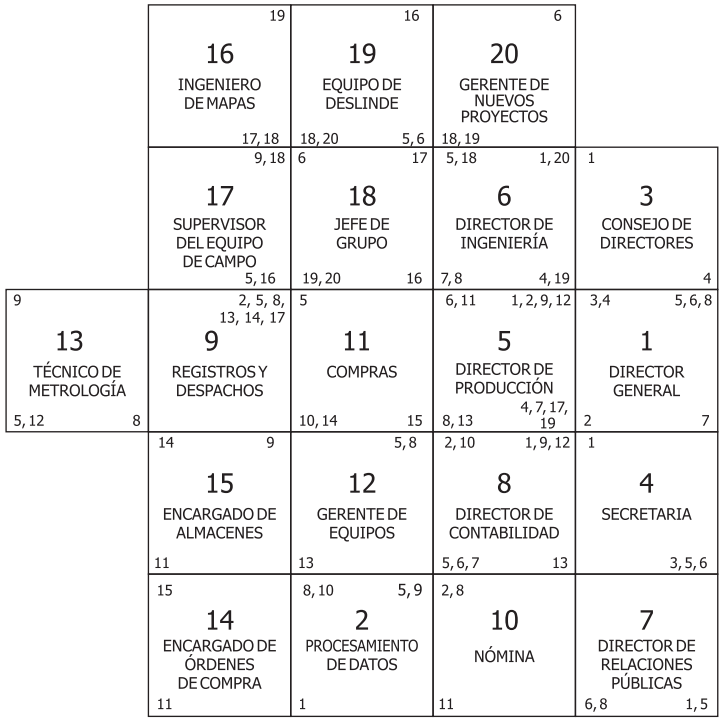


Figura 12-17 Diagrama adimensional de bloques —oficina de Electric power co-op.

Ahora se sitúan las oficinas más importantes alrededor de esta oficina central hasta que se satisfacen las relaciones código A. Cuando ubique las oficinas 6 y 11 tendrán relaciones A que satisfacer. Se debe trabajar con las relaciones A hasta que todas las oficinas tengan un lado en contacto con otra. Ahora se comienza a trabajar con las relaciones E, las I y, por último, las O. Aunque tal vez intente acomodar las relaciones O e I, es frecuente que sea imposible su cercanía, debido a la presencia de muchas otras relaciones importantes. Como intentará elaborar muchas distribuciones diferentes, hay que asegurarse de darles seguimiento (con un plano pequeño), antes de proceder a efectuar algún cambio. Existen cientos de posibilidades y la mejor respuesta es aquella que satisfaga la mayoría de relaciones.

Una vez que se tiene el diagrama adimensional de bloques final, se identifica dónde estarán las paredes exteriores, los talleres y las bodegas o almacenes departamentales (no oficinas), de modo que se desarrolle una orientación. Éste será el plan para determinar donde va cada oficina.

Determinación del espacio de oficinas

Para calcular el requerimiento de espacio para la oficina, se usan las técnicas siguientes:

1. *Técnica de los 200 pies cuadrados por persona.* Esta técnica se utiliza para establecer el espacio total de oficinas. Si mira la figura 12-10 (organigrama de Electric power co-op), contará 36 personas que requieren espacio de oficinas, lo que arroja $36 \times 200 = 7{,}200$ pies cuadrados. Por tanto, esta superficie es la que se necesita para las oficinas.

2. *Técnica del nivel en la organización.* Al estudiar la figura 12-10, se obtiene la información siguiente:

Núm. de personas	*Puesto*	*Pies cuadrados para cada uno*	*Total de pies cuadrados*
1	Alto ejecutivo	250	250
4	Director	200	800
4	Encargado	100	400
9	Contable	100	900
5	Ingeniero	125	625
6	Supervisor	150	750
	100 por ciento de tolerancia para espacio adicional		3,725
		Total	7,450 pies^2

Por tanto, se necesitan un total de 7,450 pies cuadrados (692 metros^2).

3. *Técnica de la estación de manufactura.* El enfoque de la distribución de la estación de manufactura es el más detallado e incluirá sanitarios, armarios, cafeterías, áreas de recepción, salas de consejo, salas de juntas, y cualquier cosa que requiera espacio. Esta técnica agrega 25 por ciento de espacio adicional para expansión. La superficie, en pies cuadrados, de una oficina es tan sólo lo que ésta mide de largo multiplicado por su ancho, expresado en pies. Así, una oficina de 20×20 pies, tendrá 400 pies cuadrados.

Distribución maestra detallada

No importa la técnica que se emplee, se necesita saber el largo y el ancho de la oficina para hacer la distribución. Estas medidas son suficientes para comenzar la construcción, pero se requerirán más detalles. El nivel siguiente de detalle son las distribuciones de los departamentos, que incluirán las paredes internas que los limitan. El nivel final del detalle será el lugar donde se ubicarán los escritorios, las sillas y el resto del equipo. Este plan detallado será necesario antes de hacer las asignaciones de espacio. En octubre de 1996, la General Services Administration (GSA) elaboró una guía exhaustiva y un marco de referencia para tomar buenas decisiones relacionadas con propiedades inmobiliarias, en especial, en lo que se refiere a la planeación de espacios para oficinas. Estos principios de administración de activos se desarrollaron para guiar el manejo de las propiedades inmobiliarias del gobierno federal. La GSA, la oficina de Governmentwide Policy, Office of Real Property, con la colaboración, sociedad e involucramiento de los consumidores, elaboró un conjunto de recomendaciones para administrar el portafolio de propiedades inmobiliarias federales. El uso de este documento es altamente recomendable por parte de cualquier planeador y desarrollador serio de espacios para oficinas. La versión más actualizada de este documento se encuentra en línea, en la página de la Office of Governmentwide Policy con el título "Space Use Study", en la dirección http://www.gsa.gov.

Se deben tener en mente las reglas siguientes para crear la distribución maestra detallada:

- En general, los escritorios deben tener la misma dirección.
- En áreas abiertas, los escritorios deben colocarse en filas de dos.
- Para los escritorios que estén en una fila, debe haber 6 pies entre el frente de un escritorio y el frente del otro detrás de él.
- Si los escritorios están en filas de dos o más y la entrada y la salida están confinadas a un lado, debe permitirse que haya 7 pies del frente de un escritorio al del otro que se encuentre detrás él.
- Si los empleados están espalda con espalda, hay que dejar un mínimo de 4 pies entre sus sillas.
- Los pasillos entre las áreas de escritorios deben tener un ancho de 3 a 5 pies (0.91 a 1.52 metros).
- Los pasillos intermedios deben tener 4 pies de ancho (1.22 metros).
- Los pasillos principales deben tener, por lo menos, un ancho de 5 pies (1.52 metros).
- La iluminación natural debe provenir de por arriba del hombro izquierdo o de la espalda de un empleado.
- Se requieren de 50 a 75 pies cuadrados (4.65 a 6.97 metros cuadrados) para un espacio de trabajo que consista en un escritorio, espacio para repisas y silla, con tolerancia de dos pies de espacio en su largo y ancho.
- Los escritorios no deben estar frente a pasillos y áreas de actividad intensa.
- Los escritorios de los empleados que realicen trabajos confidenciales no deben estar cerca de las entradas.
- Deben estar cerca de los accesos los escritorios de los trabajadores que tengan mucho contacto con visitantes, y debe proveérseles de espacio adicional.
- El escritorio de la recepcionista debe estar cerca de la entrada para visitas.
- Los supervisores deben ubicarse junto a los trabajadores de línea.
- En las áreas abiertas, los supervisores deben estar separados de su grupo por 3.3 pies.

- El flujo de trabajo debe seguir la distancia más corta.
- Las personas que sostengan entrevistas frecuentes, cara a cara, deben estar cerca la una de la otra.
- Los empleados deben estar junto a los archivos y referencias que usen frecuentemente.
- Los trabajadores deben ubicarse cerca de sus supervisores.
- Deben considerarse archiveros de cinco gavetas, en lugar de cuatro.
- Debe contarse con archiveros de entrepaños abiertos o laterales, en vez de los archiveros estándar.
- Como sustitutos de los archiveros de 2 gavetas deben considerarse los de cuatro o cinco.
- El área de recepción debe generar una impresión agradable a los visitantes y usará una tolerancia de 10 pies cuadrados por cada uno de ellos, si más de uno llegara en un momento dado.
- La distribución debe tener un mínimo de desviaciones y ángulos.
- Deben usarse áreas abiertas extensas en lugar de varias áreas pequeñas.
- Deben subdividirse las áreas abiertas para más de 50 personas por medio de archiveros, armazones, rieles, o particiones "tipo banco".
- El espacio para oficinas no debe utilizarse para almacenar cosas a granel o para conservar los archivos muertos.
- Debe proveerse espacio para conferencias en salones, en lugar del interior de oficinas privadas.
- Las salas de conferencias y capacitación deben agruparse.
- Será frecuente que el tamaño de las oficinas privadas se determine por medio de las particiones existentes.
- Las oficinas privadas deben tener un mínimo de 100 pies cuadrados y un máximo de 300.
- Se usará una oficina privada de 300 pies cuadrados sólo si su ocupante se reúne con grupos de ocho o más personas por lo menos una vez al día.
- Los grupos y los departamentos relacionados deben situarse cerca unos de otros.
- Deben agruparse las actividades menores alrededor de las principales.
- El trabajo debe llegar a los empleados.
- Los bebederos deben estar a la vista.
- Las distribuciones deben acomodarse para controlar el flujo del tránsito.
- Por lo general, el equipo pesado debe ponerse contra las paredes o las columnas.
- Las estaciones de manufactura que generen ruido deben agruparse.
- No debe obstruirse el acceso hacia las salidas, los corredores, las escaleras y los extintores de incendios.
- Deben acatarse todas las normas de seguridad gubernamentales.
- Al planear las oficinas, hay que considerar la carga en pisos y columnas; espaciamiento de ventanas; ductos de calefacción, aire acondicionado y ventilación; salidas eléctricas; iluminación y acústica.
- Cualquier escala de la distribución será de 1/4 de pulgada = 1 pie, o 1/8 de pulgada = 1 pie.
- Debe considerarse el uso de hojas cuadriculadas reproducibles y plantillas de plástico autoadheribles.

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son las metas de la distribución de oficinas?
2. ¿Cuáles son los cuatro tipos de espacio de oficinas?
3. ¿Cuáles son las ventajas del concepto de distribución de oficinas abiertas?
4. ¿Cuáles son las desventajas del concepto de distribución de oficinas abiertas?
5. Enliste 19 requerimientos y consideraciones especiales de las oficinas.
6. ¿Cuáles son las técnicas de distribución de oficinas?
7. ¿Cómo ayuda el organigrama en la distribución de oficinas?
8. ¿Cuánto espacio se requiere en las oficinas (estimación gruesa)?
9. ¿Cuáles son los símbolos estándar del diagrama de procedimientos?
10. ¿Qué es un diagrama de fuerzas de comunicaciones?
11. ¿Cuáles símbolos se emplean en el diagrama de fuerzas de comunicaciones?
12. ¿Cuál es la fuente básica de información para crear una gráfica de relación de actividades?

CAPÍTULO

13

Asignación de áreas

Sencillamente, la asignación de áreas es el proceso de dividir el espacio del inmueble o asignar el espacio entre los departamentos. Por supuesto, para asignarlo se necesita saber cuánto se requiere. Desde el capítulo 4 se han estado desarrollando los requerimientos de espacio para una planta de cajas de herramientas. Se continuará con ese ejemplo a fin de ilustrar la asignación de áreas.

PLANEACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE ESPACIO

En una etapa muy temprana del proyecto es necesario conocer el tamaño total de la planta, así como su forma, con el fin de diseñar el inmueble. Sobre una *hoja de trabajo de requerimientos totales de espacio* se analizan y enlistan las necesidades de espacio de cada departamento. El espacio de manufactura (capítulos 4 y 7), de servicios para la producción (capítulo 8), servicios para los empleados (capítulo 9), espacio de oficinas (capítulo 12), y espacio de áreas exteriores (capítulos 8 y 9), se determinan todos por separado y después se enlistan en la hoja de trabajo. La figura 13-1 muestra una recapitulación de los requerimientos de espacio para la planta de cajas de herramientas. Los números entre paréntesis, después de las dimensiones del largo y el ancho en los requerimientos de espacio total de la hoja de trabajo, son números de figura o de párrafo de los que provienen dichos requerimientos. Es importante que los requerimientos de espacio, si se presentan en el formato resumen, se documenten con los datos o cálculos de diseño. Éstos son necesarios para apoyar los re-

	Estaciones ×	*A*	×	*L*	*(Núm. de figura)* =	*pies cuadrados*
I. Manufactura						
A. Fabricación						
Sierra de banda	2	× 9.5	×	12	(7-5)	228
Guillotina	4	× 7	×	13	(7-7)	364
Prensa de golpe	3	× 8	×	11	(7-6)	264
Prensa	6	× 8	×	11	(7-8)	528
Roladora	1	× 6	×	18	(7-9)	108
Total de fabricación:						1,492
B. Soldadura	1	× 26	×	30	(4-12)	780
C. Pintura	1	× 28	×	100	(7-11)	2,800
D. Ensamble y empaque	1	× 16	×	38	(4-13)	608
Subtotal						5,680
50 por ciento de tolerancia (sobre todo pasillos)						2,840
Total de manufactura:						8,520
II. Servicios de producción						
Recepción—acero		13	×	25	(8-2)	325
Recepción—cajas de cartón		17	×	19	(8-3)	323
Almacenes		18	×	25	(8-16)	450
Bodega		64	×	68	(8-24)	4,352
Envíos		20	×	20	(8-7)	400
Mantenimiento y cuarto de herramientas	(2 personas @ 400 pies cada una)					800
Utilerías (sólo estimación)*						100
Área total de servicios para la producción: (los pasillos están incluidos en cada distribución en esta área)						6,750
III. Servicios para empleados						
Entrada para empleados		10	×	20	(9-3)	200
Cuarto de armarios	(3.5 pies^2/empleado	×	50 empleados)			175
Sanitarios		10	×	20	(9-7)	200
Cafetería	(10 pies^2/empleado	×	50 empleados)			500
Bebederos	(6 bebederos cada uno)	×	15 pies^2			90
Servicios médicos	(únicamente sala de primeros auxilios	10	×	10 pies	(9-12)	100
Área total requerida por los servicios:						1,265
IV. Área de oficinas (11 personas del organigrama) (11 personas × 200 pies^2 cada una)						2,200
Espacio total de construcción						18,735
V. Áreas exteriores						
Áreas de recepción, estacionamiento y maniobras						
Áreas de envíos, estacionamiento y maniobras						
Estacionamiento para empleados (50 empleados)						
1.5 empleados por espacio de estacionamiento						
250 pies^2/lugar de estacionamiento (9-2)						
$\frac{50 \text{ empleados}}{1.5 \text{ empleados/espacios}} = 34$ espacios						
34 espacios × 250 pies^2/espacio = 8,500 pies^2						

* No lo mide en forma apropiada, pero el error se eliminará con una elección prudente. Éste es un uso muy pequeño del área.

Figura 13-1 Hoja de trabajo de requerimientos de espacio total para la planta de cajas de herramientas

querimientos enunciados y también sirven como referencia en el caso de que hubiera discrepancias o fuera necesario hacer aclaraciones.

El requerimiento de espacio para el área de fabricación es el total de todas las máquinas y estaciones de manufactura. El área para una máquina es la longitud máxima multiplicada por el ancho máximo. Esto forma un rectángulo fuera de cada máquina, y se ahorra superficie si se ajustan las estaciones de manufactura con más creatividad o con máquinas con espacios de forma irregular. Cualquier espacio que se ahorre de este modo se usará en los planes futuros de expansión. Asimismo, es agradable tener un poco de espacio adicional porque el error más común en la distribución de planta es la omisión (se olvida algo). El tamaño y la forma de un departamento cambian para ajustarse a la forma final del inmueble. El tamaño debe ser muy aproximado porque se minimizaron las necesidades de espacio al diseñar el departamento, pero la forma siempre cambia un poco para ajustarse con otro departamento en el nuevo diseño de la planta.

Antes de convertir los requerimientos de espacio de la figura 13-1 en espacio de planta debe revisarse la utilización del cubo. La mayoría de diseños de la distribución se concentra en el espacio del piso, pero no todo necesita colocarse sobre éste. Tal vez sean apropiados otros niveles de la planta. Considere las áreas siguientes.

Bajo el piso

Los sótanos son los consumidores más grandes del espacio bajo el piso. Casi todo se puede colocar en un área de sótanos. Los corredores también, en especial, entre edificios. Las desventajas de las áreas de sótanos son la inversión adicional en construcción, escaleras (seguridad), elevadores (restricciones de flujo), y mantenimiento. Pero las utilerías (electricidad, aire comprimido y agua) se ubican bajo el piso en trincheras pequeñas, lo que mantiene las áreas elevadas libres para el equipo de manejo de materiales. Con esto se ahorra dinero.

Áreas elevadas o de espacio libre

El espacio libre es aquél entre los 8 pies sobre el piso y el techo (también se le llama *trabe*). Si un edificio tiene techos de 22 pies de alto y se usan armazones que apilan el material tan sólo a 6 pies de altura, solamente se utiliza el 27 por ciento de la altura disponible. Un *mezzanine* haría que esta utilización se empleara a más del doble. Una escalera de tijera y armazones de 8 pies la incrementarían aún más. Es común que los armazones aprovechen toda la altura del edificio. En el departamento de pintura se apilan dos secadoras una encima de la otra y el material se mueve por medio de transportadores teleféricos elevados. En la manufactura, el movimiento con este tipo de transportadores es un buen uso del cubo del edificio. Se ha hecho buen uso del cubo del inmueble en bodegas, almacenes, pintura y manufactura, pero, ¿qué hay de los cuartos para casilleros (*lockers*), sanitarios, cafeterías y oficinas?

Si se colocaran cuartos para casilleros sobre los sanitarios se ahorraría espacio de piso. Si se construyera una oficina de dos niveles se acortaría el espacio de piso a la mitad. Construir en el segundo piso incrementa el uso del cubo del edificio y disminuye la superficie total del uso del suelo en el nivel del terreno, por tanto, se reduce el costo de éste. Además, la inversión en construcción por pie cuadrado es menor en el segundo piso que en el nivel de tierra. Dos de los sistemas más caros de construcción de edificios de oficinas son la cimentación y el techo. Compartir estos dos en un edificio de oficinas de varios niveles reduce de manera significativa el costo por pie cuadrado del espacio para ellas.

Nivel de las trabes

Una trabe es una viga del techo. El tamaño del espacio en las trabes depende del ancho de éstas. Entre más ancha sea la base (abanico), más gruesa es la trabe. Las trabes varían de 2 a 20 pies. En función del tamaño de las trabes se colocan muchas cosas en esa área. En las trabes de las plantas de aeronaves se construyen oficinas (apoyadas en el piso). En las de los molinos de acero se edifican corredores. Muchas plantas ubican las utilerías en las trabes. Calentadores, calderas, rociadores, hornos, y otros similares se localizan en las trabes.

Azotea

La azotea, aunque no está dentro de la planta, se utiliza con fines recreativos, para el sistema de aire acondicionado central, como silo para almacenar materiales, para torres de agua, torres de enfriamiento, pruebas de control de calidad, estacionamiento y otros similares. Cualquier cosa que se retire del suelo disminuirá el tamaño del edificio; siempre hay que revisar la utilización del cubo antes de determinar el tamaño del inmueble.

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DEL EDIFICIO

La planta de cajas de herramientas necesita tener 18,735 pies cuadrados. Un edificio estándar es más barato que los diseñados sobre medida. Nadie construiría un edificio de 18,735 pies cuadrados porque sería demasiado caro. Los edificios estándar existen en muchos incrementos de tamaño, tales como 100×100 pies, 50×50 pies, 40×40 pies, y aun 25×50 pies. Esto se refiere al espacio entre columnas, por lo que un inmueble de 25×50 pies crecería en múltiplos de 25 pies de ancho con incrementos de 50 pies a lo largo. Resultaría una construcción rectangular. Una razón largo-ancho de 2:1 es una forma muy deseable de edificio, debido al flujo del material y a la conveniencia de su accesibilidad. Casi cualquier razón de longitud a ancho es posible (aun los cuadros), pero se debe comenzar primero con la razón 2:1.

Para establecer dicha relación, divida entre 2 el número total de pies cuadrados que se necesitan (lo que da dos cuadros iguales). Después saque la raíz cuadrada de la mitad de esa cifra. La planta necesita tener 18,735 pies cuadrados. Al dividir entre 2 se obtienen 9,367.5 pies cuadrados. La raíz cuadrada de este número es 97 pies. Se redondean 97 pies a 100 (lo que da múltiplos de 25 y 50 pies). Ahora se tiene el tamaño del inmueble, 100×200 pies; esto representa dos áreas de 100×100 pies. Un edificio cuadrado sería de 137×137 pies, y se redondearía a 150×150 pies, o 22,500 pies cuadrados. El tamaño de 100×200 pies equivale a 20,000 pies cuadrados, lo que representa un ahorro de 2,500 pies. Hay que recordar que una distancia de 150 pies en el interior de un edificio colocaría a un empleado lejos de una salida de emergencia.

La forma del inmueble es una sola variable para la que existen muchas respuestas correctas, pero un punto de arranque apropiado es la razón 2:1 para la longitud-ancho.

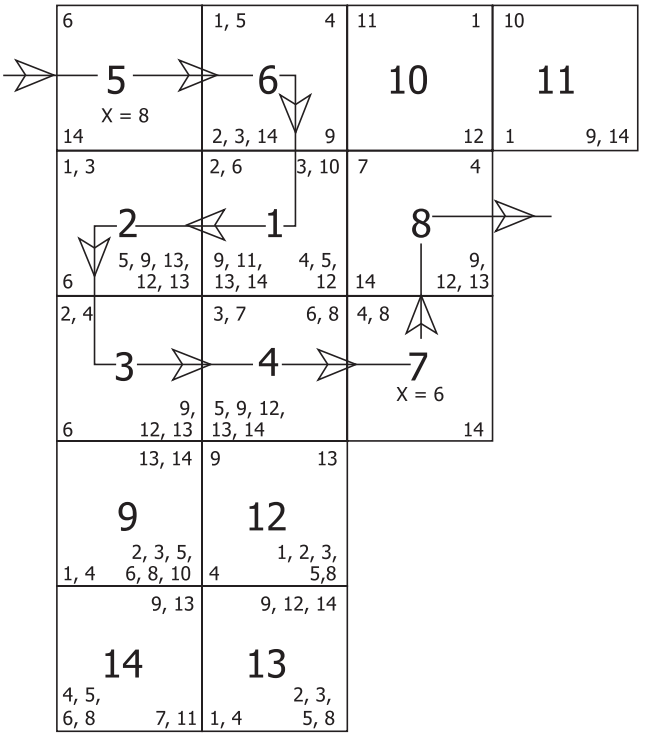


Figura 13-2 Diagrama adimensional de bloques.

DIAGRAMA ADIMENSIONAL DE BLOQUES

Ahora que se determinó el tamaño y la forma del inmueble para la planta de cajas de herramientas (100 × 200 pies), la pregunta es: ¿cómo se va a dividir este edificio de 20,000 pies cuadrados? El plan para orientar la distribución es el diagrama adimensional de bloques que se desarrolló en el capítulo 6, el cual se muestra en la figura 13-2. Deben conservarse las relaciones del diagrama adimensional de bloques, pues es común la falta de concordancia entre éste y la distribución final detallada.

PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN DE ÁREAS

Con la hoja de trabajo de planeación de los requerimientos de espacio (vea la figura 13-1) y el diagrama adimensional de bloques (vea la figura 13-2), ahora es posible dividir el edificio en departamentos.

1. El primer paso de la asignación de áreas es establecer una cuadrícula de 100 × 200 pies, usando papel para graficar de 1/2 pulgada: una escala de 1/2 pulgada = 20 pies; ésta escala hará que cada cuadrado de 1/2 × 1/2 sea igual a 400 pies cuadrados. La figura 13-3a

muestra el primer intento. Todo lo que se necesita para comenzar son las paredes (sólo las externas) y las columnas (25×50 pies).

Departamento	*Pies cuadrados*	*Núm. de bloques de 400 pies²*
Fabricación	2,238	6
Soldadura	1,170	3
Pintura	4,200	11
Ensamblado y empaque	912	3
Recepción	648	2
Almacenes	450	1
Bodega	4,352	11
Envíos	400	1
Mantenimiento y cuarto de herramientas	800	2
Utilerías	100	1/4
Entrada para empleados	200	1/2
Cuarto de armarios	175	1
Sanitarios	200	1/2
Cafetería	500	$1\frac{1}{2}$
Bebedero	—	—
Médico	100	1/4
Oficina	2,200	6
Total		50

2. El segundo paso de la asignación de áreas es calcular el número de cuadros (de 400 pies cuadrados) que necesita cada departamento:

Se necesitan un total de 50 cuadros de 400 pies cuadrados cada uno, es decir, 20,000 pies cuadrados. Los 50 espacios se obtuvieron al redondear los resultados.

3. El tercer paso es colocar estos bloques en la distribución de asignaciones de área (vea la figura 13-3a) con el uso del diagrama adimensional de bloques como guía. La figura 13-3b muestra una asignación de los (50) cuadros de 400 pies cuadrados. Es posible tener unos cuantos cuadros abiertos debido a que se construyeron 1,300 pies cuadrados más de los necesarios, pero el ejemplo empleó los 50 bloques por el redondeo. Ahora se sabe dónde estarán los departamentos, así como la forma que tendrán.

4. El cuarto paso del procedimiento de asignación de área es una distribución con la pared interna o (mejor) los límites del área. La figura 13-3c ilustra la primera distribución completa de planta que se produce en este libro, pero aún hay mucho trabajo detallado por hacer. En el siguiente capítulo se estudiará la distribución detallada con la colocación de cada elemento de equipo. Una vez que el procedimiento para asignar áreas genera un plan final, el arquitecto comienza con el diseño y la construcción del inmueble.

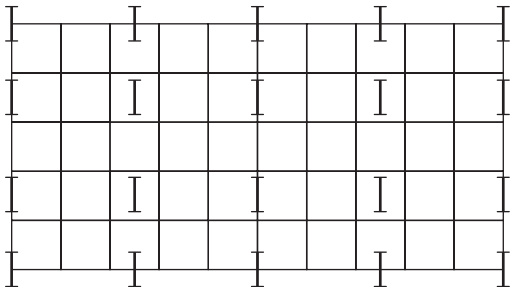


Figura 13-3a Cuadrícula de 100 × 200 pies (2.5 × 5 pulg) escala: 1/2 pulg = 20 pies.

R	A	F	F	F	F	ÚTIL	B	B	B
S.F.	F	F	F	F	F	CH	B	B	B
S.F.	F	F	F	F	F	CH	B	B	ENVÍOS
P	F	F	F	F	ENS.	EMPQ.	B	B	B
SAN. CA	C	0	0	0	0	0	0		

Figura 13-3b Asignación de cuadros.

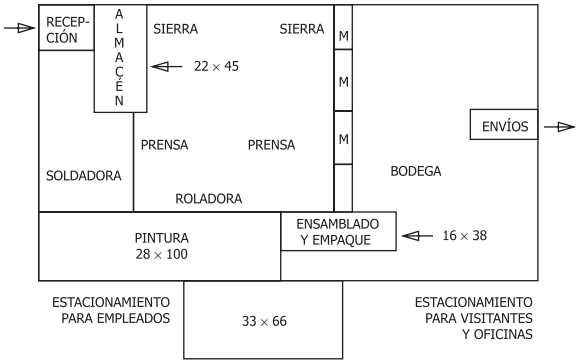


Figura 13-3c Distribución de la asignación del área.

ASIGNACIÓN DE ÁREAS DE OFICINAS

El procedimiento para asignar las áreas de oficinas es el mismo que el de la planta. Para el segundo ejemplo, la fuente de información básica será el organigrama (vea la figura 12-10) de la oficina de Electric power co-op y el diagrama adimensional de bloques (vea la figura 12-17).

El organigrama muestra que se necesita espacio para 36 personas (29 empleados y 7 miembros del consejo). La estimación preliminar de 200 pies cuadrados de espacio por persona requeriría 7,200 pies cuadrados de espacio para oficina (200 pies por 36). El nivel de la técnica de organización muestra que son necesarios 7,450 pies cuadrados. Estas dos cifras son muy cercanas, lo que haría sentir cómodo a cualquier planeador al suponer que lo adecuado serían 7,300 pies cuadrados de espacio para oficinas.

El tamaño de la oficina sería el siguiente:

$$\sqrt{\frac{7{,}200}{2}} = 60 \text{ pies}^2 \text{ o } \sqrt{\frac{7{,}450}{2}} = 61 \text{ pies}^2$$

El inmueble (oficinas) tendrá 60 por 120 pies (dos cuadros de 60 × 60 pies cuadrados); 60 × 120 pies = 7,200 pies cuadrados.

El plan de relaciones es el diagrama adimensional de bloques, según se estudió en el capítulo de distribución de oficinas y se muestra en la figura 12-18. Deben conservarse las relaciones de cercanía que incorpora el diagrama adimensional de bloques. El propósito principal de una distribución de oficinas son éstas y los empleados, como se aprecia en las figuras 12-11 y 12-18. Pero ninguno de ellos queda incluido en los servicios personales como sanitarios, cafeterías, almacenes de suministros o archivos. Tampoco están incluidas funciones de servicio para las oficinas, como las salas de juntas o áreas de recepción.

El espacio para oficinas para los siete miembros del consejo de directores se determinó con el empleo del método del número de empleados, en lugar de la técnica del nivel dentro de la organización. Como se recuerda, el método del número de empleados asigna un promedio de 200 pies cuadrados de oficina por empleado, mientras que la técnica del nivel dentro de la organización asigna superficie de espacio de oficinas sobre la base de la posición del individuo en el organigrama. Cuando utilice la técnica del nivel dentro de la organización, debe estar seguro de dar una tolerancia de 100 por ciento para espacio de pasillos, entre otras cosas.

El procedimiento de asignación del área funciona como sigue:

Paso 1. Establecer una cuadrícula de 60 × 120 pies, con el uso de papel para graficar 1/2 pulgada. La escala de 1/2 pulgada = 10 pies hará que cada cuadrado de 1/2 × 1/2 pulgada por lado sea igual a 100 pies cuadrados. La figura 13-4a muestra un croquis de la oficina. Un buen plan es dejar un espaciamiento entre columnas de 30 × 40 pies. Estas columnas deben marcarse en la cuadrícula para garantizar que sobre ellas no se coloquen pasillos o equipo.

Paso 2. Calcular el número de cuadros (100 pies cuadrados) necesarios por oficina o función de servicio. La figura 13-5 enlista las oficinas según se desarrolló a partir de la figura 12-10 (organigrama). El primer número antes del nombre indica el número de posición en el organigrama. Estos números de posición también se usan en el diagrama adimensional de bloques. La superficie en pies cuadrados requerida para cada función se tomó del capítulo 12. Se debe recordar que cada requerimiento de espacio superficial depende de algo más. El número entre paréntesis antes de la descripción del área indica el número de personas en dicho espacio, si es que hubiera más de una. El número total de pies cuadrados que se calculó en la figura 13-5 es de sólo 5,790, y la distribución reclama 7,200 pies cuadrados. La diferencia estriba en el espacio para los pasillos. Tal vez esté ajustado (se necesite más espacio), por lo que el espacio para pasillos debe ser usado con eficiencia.

Paso 3. El paso 3 comienza con la colocación del diagrama adimensional de bloques (vea la figura 12-17) y los requerimientos de superficie de oficinas (vea la figura 13-5) a continuación del diagrama de bloques (vea la figura 13-4a). Se asigna espacio con la colocación del número(s) de posición en los cuadros de 100 pies cuadrados para el diagrama adimensional de bloques. Se trabaja con las áreas de servicios mediante la colocación de éstos de manera conveniente para la mayoría de las personas. Los resultados de este proceso serán parecidos a los que se mues-

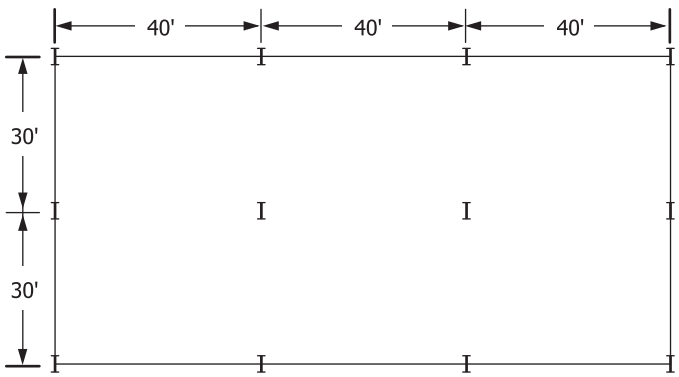


Figura 13-4a Paredes exteriores de las oficinas (30 × 40 pies).

16	16/17	18	3	3	3	6	3	3	3	1	1
17	19	18/19	20	3	3	6	3	3	3		4
	26	26		23	25	21	23	11	5	5	7
13	26	26	23	23	25	21	23	12	8		7
13	14		2		24		23		8	10	8
9	15	2	2	10	10	22	22	22	8	10	8

Figura 13-4b Cálculo del número de cuadros.

tran en la figura 13-4b. Se dice "parecidos" porque si cuatro diseñadores hicieran este trabajo en forma simultánea, habría cuatro respuestas diferentes y correctas.

Lo principal es estar de acuerdo con el diagrama adimensional de bloques.

El paso final en el procedimiento de asignación de áreas es desarrollar un diagrama final para ello. Este paso requiere que se coloquen los pasillos y los límites específicos. Los pasillos deben ser rectos y e ir a todo lo largo y ancho de una oficina. La primera decisión importante de este último paso consiste en establecer los pasillos. Se trata de una oficina pequeña, por lo que se eligen pasillos principales de 5 pies y transversales de 4. La figura 13-4c muestra la distribución final. Fueron descartadas cuatro distribuciones previas, debido a las mejoras sucesivas. No se debe temer hacer muchos arreglos distintos. El mejor arreglo satisface la mayoría de relaciones, como se muestra en el diagrama adimensional de bloques.

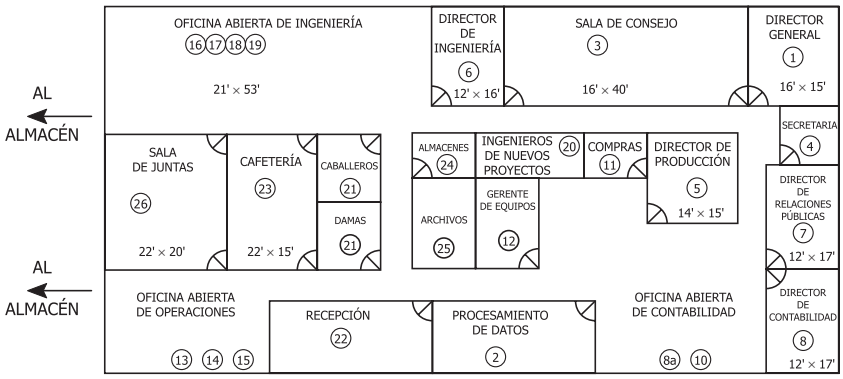


Figura 13-4c Diagrama de asignación de áreas.

Número de posición	*Descripción del área*	*Tamaño, pies cuadrados*	*Núm. de espacios de 100 pies*	*Tamaño aproximado*
1	Director general	250	2.5	15 × 16
2	Procesamiento de datos (3)	300	3	19 × 16
3	Consejo (7)	640*	6.5	40 × 16
4	Secretaria	100	1	10 × 10
5	Director de producción	200	2	12.5 × 16
6	Director de ingeniería	200	2	12.5 × 16
6A	Ingenieros (3)	450	5	28 × 16
7	Director de relaciones públicas	200	2	12.5 × 16
8	Director de contabilidad	200	2	12.5 × 16
8A	Contabilidad (4)	400	4	25 × 16
9	Registros y despachos	100	1	10 × 10
10	Nómina (2)	200	2	12.5 × 16
11	Compras	125	1	10 × 12.5
12	Gerente de equipos	150	2	12.5 × 12.5
13	Técnico de metrología	150	1	12.5 × 12.5
14	Encargado de órdenes de trabajo	100	1	10 × 10
15	Encargado de almacenes	100	1	10 × 10
16	Ingeniero de mapas	125	1	10 × 12.5
17	Líder del equipo de campo	150	1	12.5 × 12.5
18	Jefe de grupo	150	1	12.5 × 12.5
19	Líder del equipo de deslinde	150	2	12.5 × 12.5
20	Ingeniero de nuevos proyectos	150	2	12.5 × 12.5
21	Sanitarios (8-D)(2)	200	2	10 × 10 (2)
22	Recepción*	300	3	12 × 25
23	Cafetería	300	3	15 × 20
24	Almacenes*	100	1	10 × 10
25	Archivos*	200	2	10 × 20
26	Sala de juntas	400	4	20 × 20
		5,790	61.0	

*Vea la distribución en la figura 13-4c.

Figura 13-5 Requerimientos de superficie para los espacios de oficina —Electric power co-op.

PREGUNTAS

1. ¿Qué es la asignación de áreas?
2. ¿Qué es la hoja de trabajo de requerimientos totales de espacio?
3. ¿Cuáles son los diferentes niveles dentro de la planta?
4. ¿Cómo se convierten los pies cuadrados al tamaño del inmueble?
5. ¿Cuál es el procedimiento de asignación del área?
6. ¿Cuál es el resultado final del procedimiento para asignar áreas?
7. ¿Cómo se mejoraría el uso del espacio libre?
8. ¿Cuál de las siguientes áreas colocaría en el piso superior y por qué?
   a. Sanitarios o cuartos de casilleros.
   b. Contabilidad o compras.
   c. Archivos antiguos o actuales.
9. ¿Qué es una columna? ¿Por qué es importante?
10. ¿Qué es el espaciamiento entre columnas?
11. De acuerdo con la proporción áurea de la arquitectura, ¿cuál sería el largo y el ancho de edificios que tuvieran los siguientes requerimientos de espacio?
    a. 825,000 pies cuadrados.
    b. 250,000 pies cuadrados.
    c. 87,500 pies cuadrados.
12. Una vez determinados el largo y el ancho del inmueble, ¿cómo sabría dónde colocar los departamentos?
13. Analice las ventajas y desventajas de situar las oficinas en el segundo piso.
14. ¿Cuáles son los sistemas más caros en la construcción de espacios de oficinas?

C A P Í T U L O

14

Diseño de instalaciones: la distribución

"Distribución" es un término sencillo que debe comunicar los resultados complejos producto de muchos meses de recolección y análisis de datos. La distribución sólo es tan buena como los datos que le dan respaldo; es la presentación visual de los datos y el análisis subsecuentes realizados por el planeador de las instalaciones. La combinación de exactitud y credibilidad de los datos con el análisis lógico de la información da como resultado una buena distribución. Con frecuencia, datos incorrectos o incompletos, un criterio inadecuado por parte del planeador, o una combinación de ambos factores, conducen a resultados poco deseables.

El término "distribución" se aplicará al dibujo de los planos y de los planes maestros. La distribución es la herramienta más importante que tiene el planeador de instalaciones para vender. Cuando el plan se presenta a la dirección, lo común es que se pida una demostración de la manera en que fluyen los productos a través de la planta. El diagrama de flujo, según se estudió en el capítulo 5, es de gran ayuda para ilustrar lo anterior. Sin embargo, el diagrama de flujo no puede originarse sino hasta que la distribución se haya desarrollado. Por supuesto, también podría usarse sobre la distribución existente para comparar el método actual con el propuesto, como base para mejorar la productividad y reducir el costo.

PLANO DEL PLAN

Un *plano del plan* muestra la forma en que el terreno queda ocupado por el edificio(s), el estacionamiento(s) y los camino(s) (vea la figura 14-1). También son importantes para el proyecto de construcción las carreteras principales, las instalaciones, los drenajes y otros similares. Los reglamentos de construcción de la ciudad y gobierno local también influyen en el plano del plan. Los accesos (entradas) tal vez requieran caminos frontales, mientras que para el estacionamiento quizá sea necesario hacer una vía que lo respalde.

Paso 1. Comenzar con la distribución del terreno, que muestre sus límites.

Paso 2. Dibujar en la distribución los caminos principales que rodean la propiedad o el punto por donde la vía de acceso entraría a ésta.

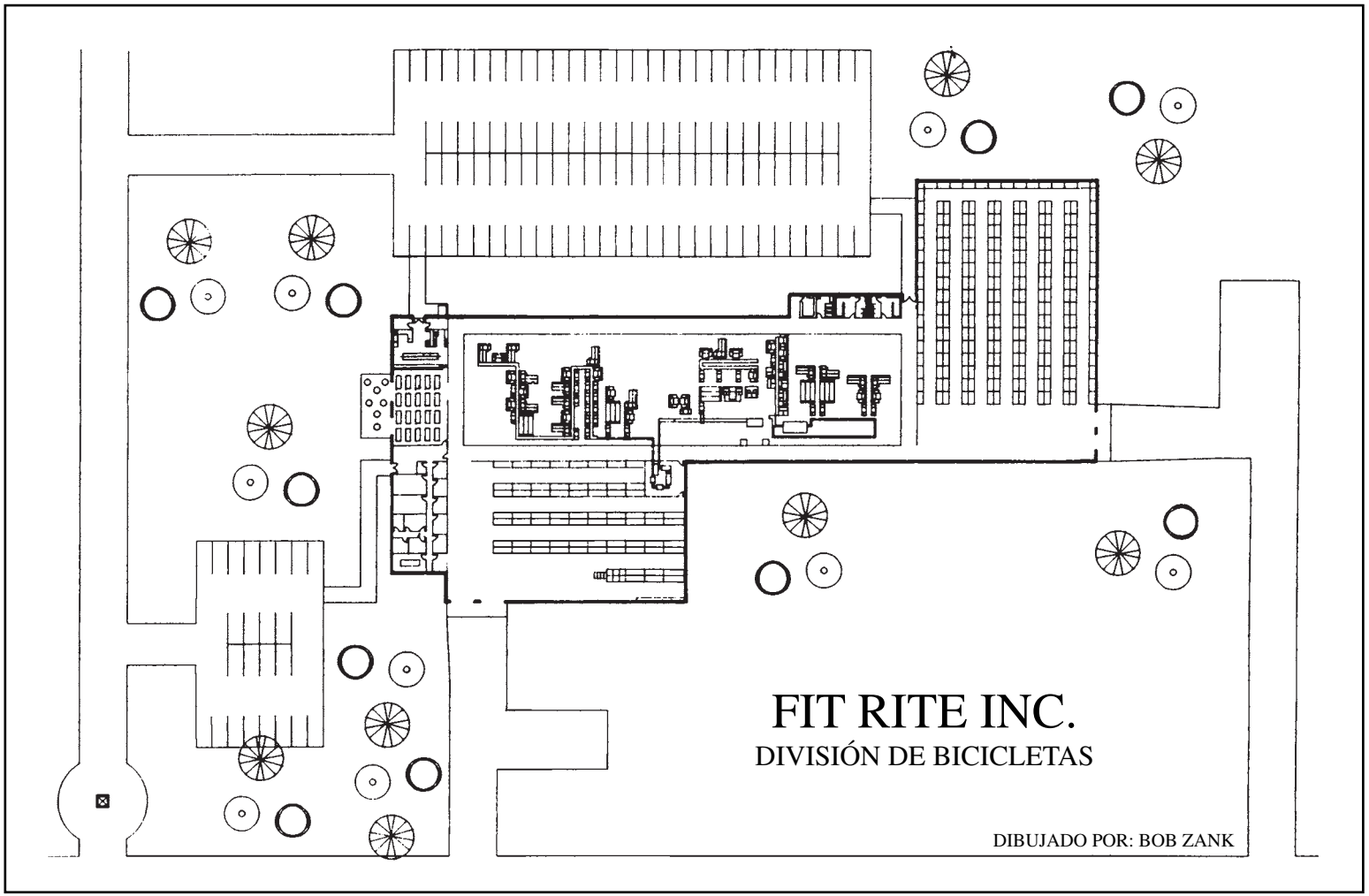


Figura 14-1 Plano del plan.

Paso 3. Indicar las fuentes de agua, energía, gasolina y teléfonos.

Paso 4. Colocar el inmueble con la fachada hacia el camino y el lado más largo hacia otra ruta. Los planes de expansión avanzarán hacia la parte posterior de la construcción.

Paso 5. Señalar la recepción y la zona de envíos (considerar hacia donde se dirigirá la expansión).

Paso 6. Conectar la recepción y el área de envíos con el camino principal.

Paso 7. Marcar dónde se localizarían las entradas para empleados y para el público.

Paso 8. Indicar los estacionamientos para visitantes y empleados.

La figura 14-2 muestra el plano del plan de la planta de cajas de herramientas.

Un plano del plan también debe indicar las posibilidades de expansión. Es importante en extremo tomar en cuenta la expansión, aun antes de comprar la propiedad. Los precios de éstas varían en función de muchos factores, pero el que más afecta el plano del plan es el costo del frente *versus* el de la profundidad del lote. El costado de un terreno que mira hacia un camino principal se denomina *frente*. El costo unitario del terreno varía en forma proporcional con la longitud del frente. La profundidad del lote es un factor menos importante. Por supuesto, es necesario que el tamaño sea adecuado para la planta, pero podría comprarse terreno adicional atrás del lote a un precio mucho más barato que el que tendría sobre el camino. Por tanto, hay que planear que la expansión sea hacia atrás de la construcción. Debe asegurarse de que no se coloque ninguna instalación permanente o costosa en la ruta de expansión. Las plataformas de envíos y recepción son dos de las instalaciones que no deben ubicarse en el área de expansión.

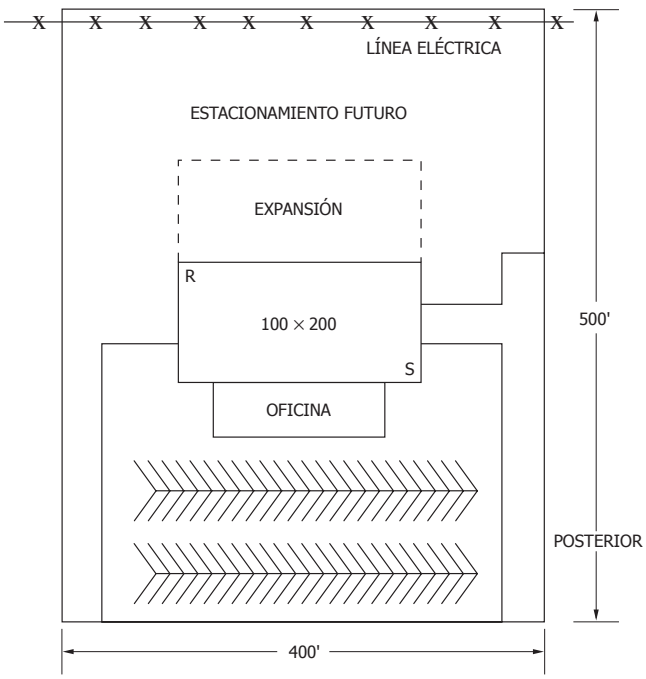


Figura 14-2 Plano del plan de la planta de cajas de herramientas.

Métodos de distribución de la planta

Existen tres métodos para mostrar la distribución de la planta:

1. Técnica de la pantalla y la cinta.
2. Técnica de los modelos tridimensionales.
3. Técnica del diseño asistido por computadora (CAD).

Método de la pantalla y la cinta para diseñar instalaciones

Ésta es casi una lección de historia. Antes del arribo del CAD, el método de la pantalla y la cinta era la técnica preferida por los diseñadores de instalaciones que hacían un gran número de ellas. Aún hay quien la usa, pero el CAD se ha impuesto. El *método de la pantalla y la cinta* es una distribución que se hace con pantallas transparentes y rollos de varias cintas que se colocan sobre una base cuadriculada de *mylar* (plástico). Este material tiene una cuadrícula de 1/2 pulgada impresa suavemente en color azul que permite al diseñador colocar muros, pasillos y máquinas sin usar ningún tipo de regla. En primer lugar, se coloca la cinta de las paredes, lo que crea el contorno del inmueble.

La expansión del edificio se hace por encima (agregando un segundo piso o, incluso, un tercero), por lo que la construcción inicial debe permitir pisos adicionales. El estacionamiento se expande hacia atrás del terreno, y quizás sea necesaria una entrada adicional para los empleados. Lo cual tal vez requiere que se trasladen los cuartos de casilleros (*lockers*), sanitarios y cafeterías, pero si fueran necesarias nuevas instalaciones deben considerarse todos los servicios con el fin de mantener el buen tránsito de los trabajadores.

Cuando se compra un lote, una regla práctica es adquirir 10 veces más terreno del que se necesita para el edificio. Una construcción de 100×200 pies, con superficie de 20,000 pies cuadrados, requeriría 200,000 pies cuadrados de terreno (más o menos 5 acres). Otro factor económico es el costo del frente (p. ej., el límite de la propiedad adyacente con el camino) en comparación con los que quedan fuera del camino. Por lo general, las propiedades sobre el camino se venden según la longitud del frente, mientras que las propiedades lejos de aquél suelen ser comercializadas de acuerdo con su superficie, por lo que hay que comprar tanto de éstas como se justifique en lo económico. Debido a ciertas consideraciones económicas, como el costo de la tierra, impuestos sobre la propiedad, restricciones de uso del suelo y ordenamientos locales, la mayoría de construcciones de plantas nuevas ocurren fuera de la ciudad o de los límites urbanos.

El plano del plan transmite una gran cantidad de información acerca de cómo se adaptará la planta nueva al terreno y cuáles son las instalaciones externas requeridas. Ahora el arquitecto puede diseñar los caminos de acceso, los estacionamientos y el edificio. El diseñador de instalaciones se centra de nuevo en los problemas de distribución interna de la planta y crea el plan maestro.

PLAN MAESTRO

El *plan maestro* es el producto terminado del proyecto de diseño de las instalaciones. En la mayoría de ocasiones, el término "distribución" de planta se refiere al plan maestro, el cual indica la ubicación de cada máquina, cada estación de manufactura, departamento, escritorio y de todos los demás objetos de importancia.

Se usa cinta de 1/4 a 3/8 de pulgada para representar los muros, y de 1/8 para los pasillos. Se usa otro tipo de cinta para las líneas neumáticas e hidráulicas, eléctricas, transportadores (elevados o sin fin), para la ubicación de las columnas e, incluso, existen planillas de figuras de operadores. La figura 14-3 muestra una colección de cintas disponible en Chartpak Company.

Las pantallas son contornos de plástico transparente (a veces translúcido) de todas las piezas específicas del equipo. La figura 14-4 muestra pantallas de varias máquinas y equipo de oficina que se encuentran disponibles en Plan Print Corporation (estas pantallas existen también para CAD). Las pantallas también se realizan dibujando el contorno del equipo sobre papel bond, y después se escribe sobre éste la descripción y las dimensiones de los objetos. A continuación, se hace una transparencia en la copiadora. Se cortan las plantillas y se usa cinta de doble cara para poner el equipo en el lugar que corresponda sobre la cuadrícula. El original (en papel bond) permite obtener un número ilimitado de copias. Al pasar los años, un catálogo de originales reduce el tiempo necesario para hacer nuevas distribuciones de plantas o líneas de productos. Las pantallas también se hacen a partir de plantillas de plástico que se adquieren en las tiendas especializadas (vea la figura 14-5). Estas plantillas tienen recortadas formas diversas que se siguen con trazos para obtener pantallas. Las pantallas existentes se capturan con escáner en una computadora y el archivo se transfiere a algún sistema CAD. Hay plantillas de plástico disponibles recortadas para baños, oficinas, casilleros, etcétera. Se produjeron para la técnica arquitectónica antigua del dibujo (con regla T y plumillas), pero resultaron muy útiles para la técnica de la pantalla.

Los paquetes de distribución de planta asistidos por computadora, y la mayoría de sistemas de dibujo o programas de diseño, contienen una buena cantidad de plantillas tridimensionales (3D) y bidimensionales (2D), para auxiliar al planeador de instalaciones. Existen librerías extensas de plantillas de cualquier pieza que pueda concebirse de equipos de manufactura, desde un pulverizador básico hasta tornos CNC y molinos, y máquinas para hacer moldes por inyección. Los sistemas de manejo de materiales, como las grúas de travesaño y puente, los montacargas, y una gran variedad de transportadores, también se encuentran a disposición del planeador con un solo clic del ratón. Estas herramientas de avanzada para planear instalaciones han puesto a disposición de quien lo necesite plantillas arquitectónicas de elementos constructivos, plataformas de recepción y envío, así como muebles y equipos para oficina, personal de operación e, incluso, de arquitectura del paisaje para los exteriores y para la decoración de interiores. Aun cuando la necesidad o la imaginación del planeador exceda la vastedad de estas librerías, las herramientas de software tipo menú se utilizan con facilidad y rapidez para crear las plantillas necesarias que después se guardan como parte del sistema o la librería privada para uso futuro.

El procedimiento para hacer la distribución de la planta por medio de la técnica de la pantalla y la cinta, es el siguiente:

1. Colocar la base *mylar* sobre una mesa.
2. Hacer el contorno de los muros exteriores.
3. Cortar las puertas.
4. Poner las vigas tipo I.
5. Ubicar los pasillos.
6. Situar las paredes interiores (que deben ser minimizadas, pues interfieren con el flujo apropiado).
7. Localizar el equipo según el análisis del flujo y de la relación de actividades.
8. Usar una cubierta de plástico transparente que muestre el flujo del material (diagrama de flujo).
9. Solicitar la opinión de los colegas (capítulo 16).

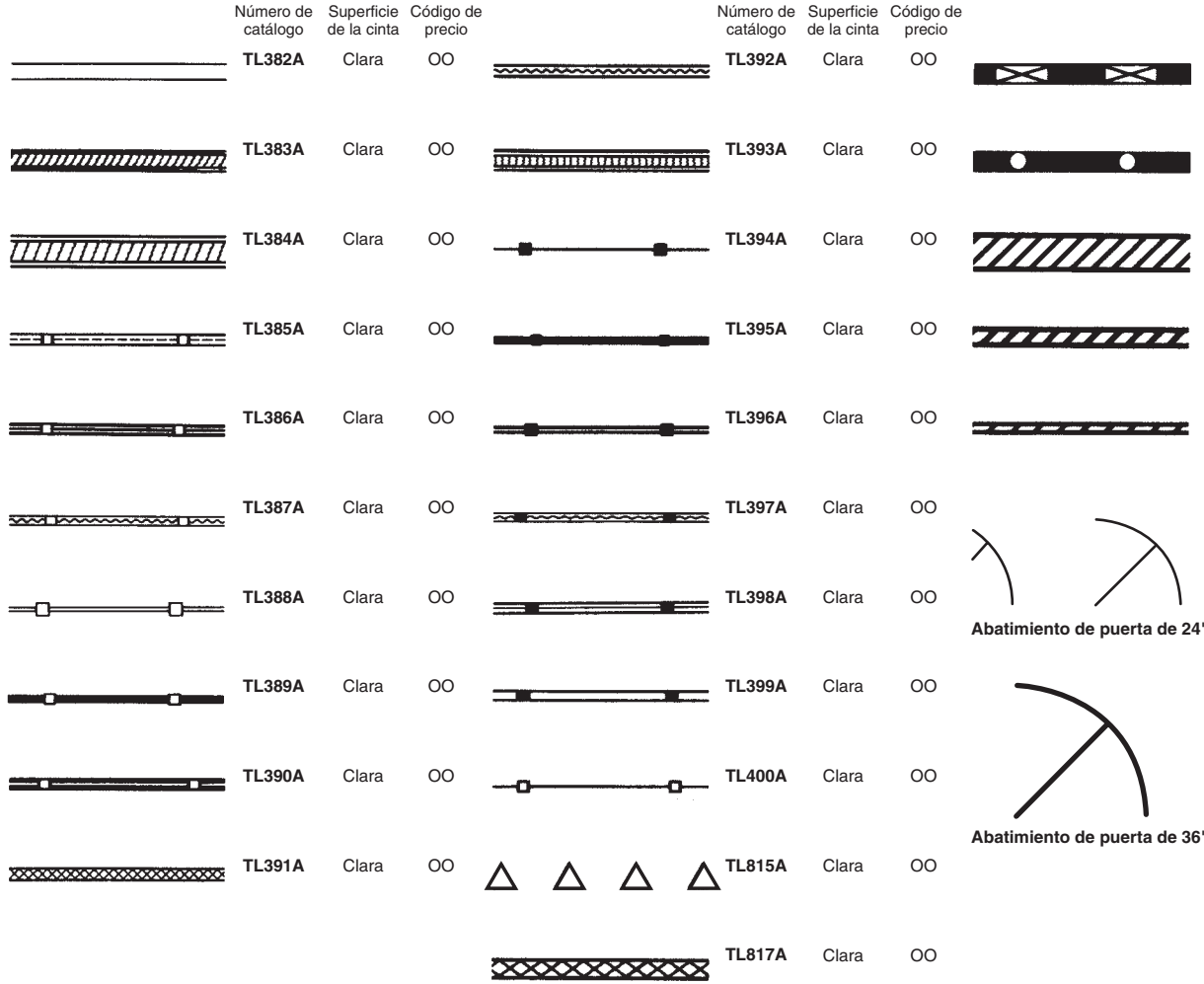


Figura 14-3 Cinta para hacer distribuciones de planta y oficinas (cortesía de Chartpak Co.).

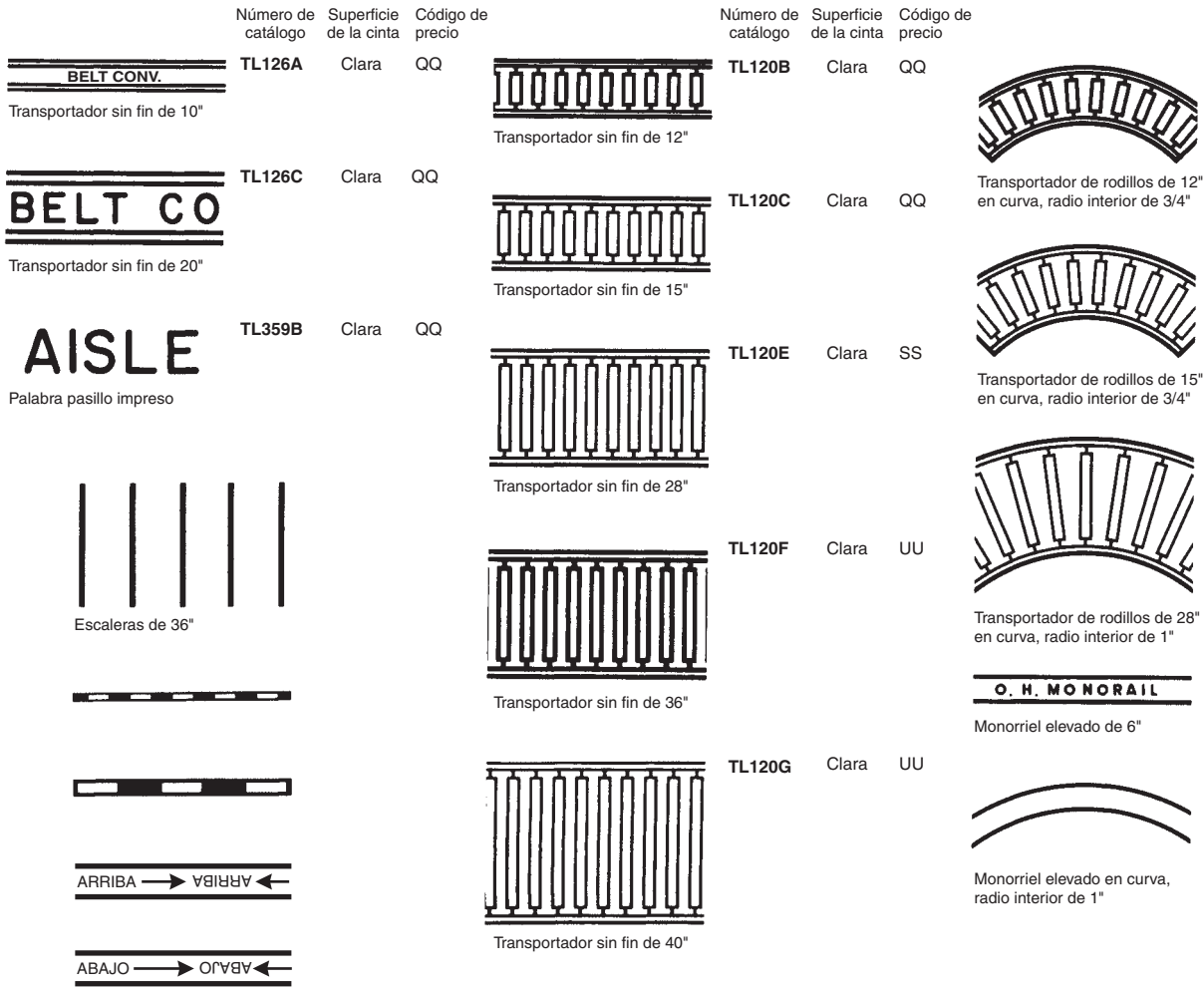


Figura 14-3 (continuación) Cinta para hacer distribuciones de planta y oficinas (cortesía de Chartpak Co.).

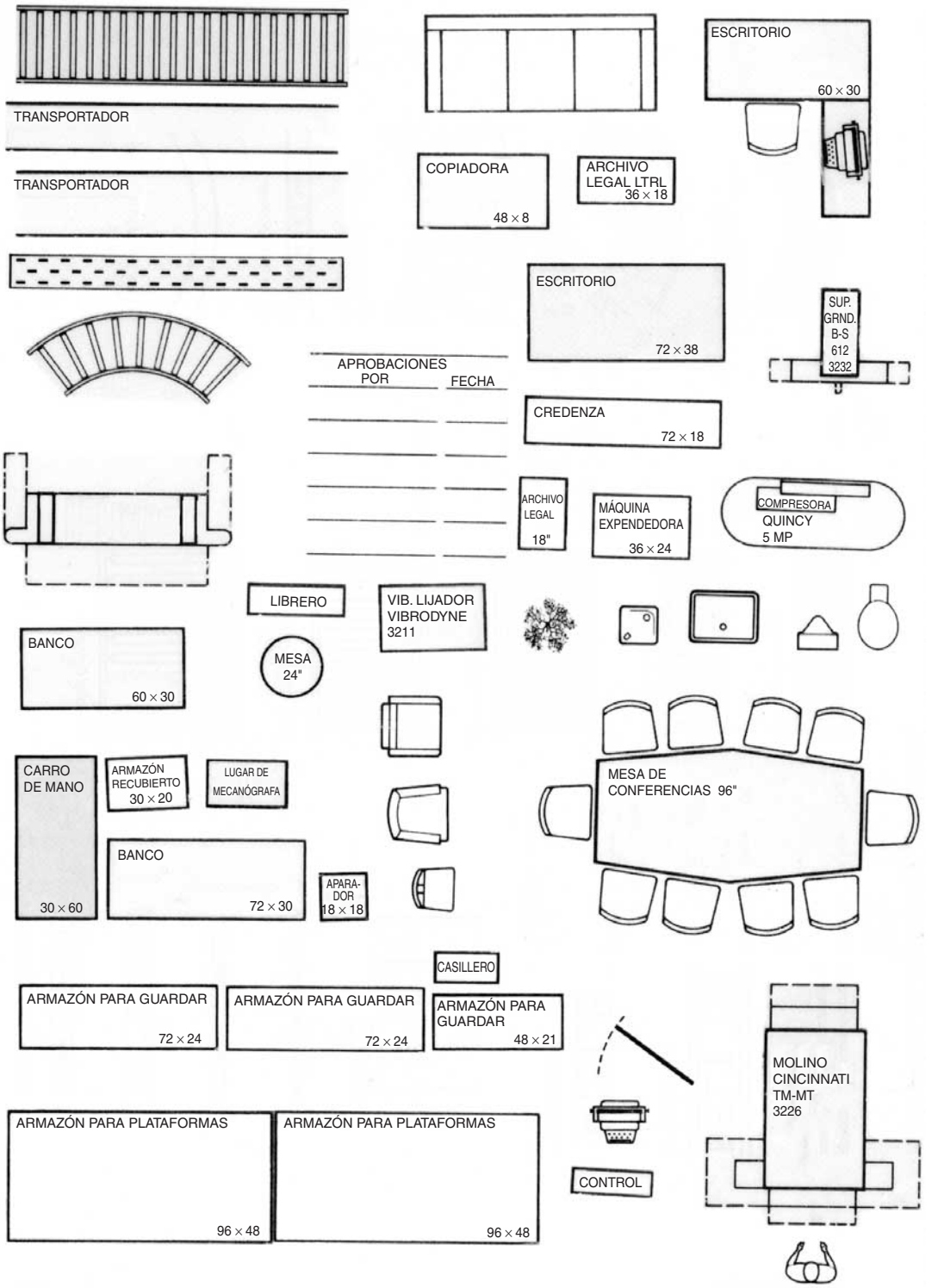
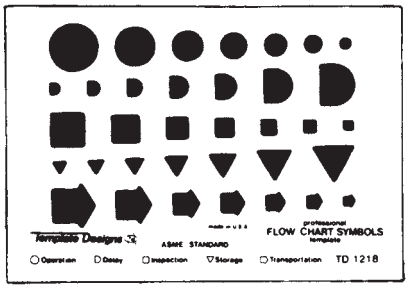


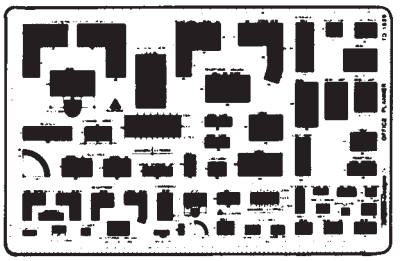
Figura 14-4 Muestras de plantillas de plástico (cortesía de Plan Print Corp.).



Símbolos de flujo del proceso

Contenido: símbolos estándar de flujo del proceso; operación, retraso, almacenamiento, inspección y transporte, en 7 tamaños, $^3/_{16}$" a $^5/_8$". ASME. Tamaño: $3^3/_4$"$\times$ $5^1/_2$" $\times$ .030".

Núm. TD1218



Planeador de oficinas

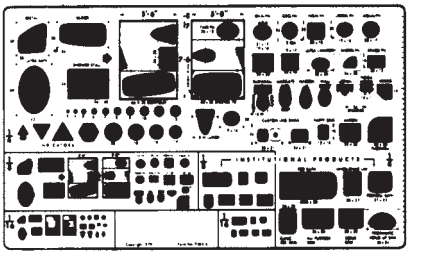
Contenido: mesas, unidades de almacenamiento, escritorios en L, libreros, credenzas, archivos, plataformas y abatimientos de puerta.
Escalas: $^1/_4$" y $^1/_8$" = 1". Tamaño: 7" $\times$ $8^1/_4$" $\times$ .030".

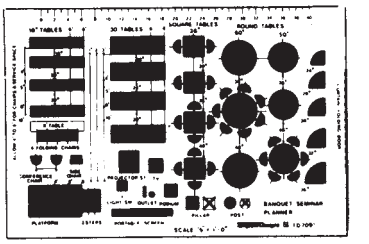
Núm. TD1529

Plomería —vistas planas

Similar al núm. TD1190.
Tamaño: $5^1/_2$" $\times$ $9^3/_4$" $\times$ .020".

Núm. 36T





Planeador de salas de banquetes/ seminarios

Contenido: mesas, sillas, abatimientos de puerta, podio, cubículo para proyector, televisión, etc., para planear distribuciones de salas de banquetes, seminarios o juntas.
Se proporciona el espaciamiento de mesas para hacer arreglos rápidos y exactos.
Escala: $^1/_8$" = 1". Tamaño: $6^1/_4$" $\times$ $4^3/_8$" $\times$ .030".

Núm. TD7091

Figura 14-5 Muestras de plantillas de plástico (cortesía de Alvin and Co., Inc.).

Modelos tridimensionales (3D)

Las distribuciones que utilizan modelos tridimensionales tienen la gran ventaja de ilustrar y resaltar cualquier problema con las alturas. Cada día se desarrollan modelos comerciales 3D. La mejor fuente para encontrarlos son las revistas mensuales de ingeniería. Los modelos tridimensionales se colocan en una cubierta de plástico transparente con cuadrícula de 1 pulgada = 1 pie cuadrado. Son agradables, pero su alto costo, la dificultad para copiarlos y el problema del espacio para almacenarlos, los hace menos deseables. El procedimiento para usar la técnica de modelos 3D es el mismo que el de la pantalla y la cinta. Las escalas para esta técnica y para la de 3D son las mismas. La escala en que un cuarto de pulgada es igual a un pie es la más popular para la distribución de la planta, seguida por aquella en que 1/8 de pulgada representa 1 pie. Muchas plantillas comerciales y modelos 3D se encuentran disponibles en esas dos escalas. Si no se necesitan materiales externos puede usarse cualquiera otra escala.

Una compañía de juguetes emplea la escala de 1/2 pulgada = 1 pie, y eso posibilita plasmar mucha más información en las pantallas. Una plataforma de 4×4 pies se reduce a una etiqueta de 2×2 pulgadas, y el número de parte, nombre y calidad por plataforma se escriben a la derecha de la pantalla.

Técnica del diseño asistido por computadora (CAD)

El diseño de distribuciones de planta asistido por computadora es la técnica más reciente. Las ventajas de todas las técnicas anteriores aumentan con el CAD, y las desventajas se han minimizado. Esto es en el supuesto de que la compañía disponga de un operador capacitado, del equipo y del programa. Para cualquier empresa resulta de mucho valor contar con planeadores nuevos dotados de experiencia en CAD y conocimientos de distribución de plantas.

Uno de los paquetes de software utilizado para crear la mayoría de dibujos de este libro es AutoCAD. Sin embargo, existen disponibles muchos otros programas con opciones diferentes para el planeado de las instalaciones.

Aunque el costo inicial del software de diseño de instalaciones asistido por computadora se consideraría una desventaja, paquetes de CAD más económicos son muy capaces de producir resultados excelentes de alta calidad profesional. Además, una vez que se amortizan los costos iniciales del equipo y el software, la eficiencia continua y la eficacia económica son más impresionantes. Los cambios, las correcciones y las modificaciones en las distribuciones se hacen con mucha rapidez, la calidad de los dibujos es extraordinaria, en especial, si se emplean impresoras de dibujos (*ploters*), todo se guarda en forma electrónica para usarlo en el futuro, y se puede transferir y compartir al instante en todo el mundo. Conforme se elaboran más distribuciones, la tarea se vuelve más fácil, debido a la importación de algunas o todas las partes de un dibujo hacia otro nuevo. Las distribuciones tridimensionales y por capas (cubiertas) auxilian en la visualización y en las relaciones espaciales.

La figura 14-6 compara las cuatro técnicas para que el lector seleccione con más facilidad la que se adapte mejor a sus necesidades.

Sistemas avanzados de cómputo

El diseño de instalaciones ha experimentado cambios graduales desde la década de 1940. Se ha vuelto más eficiente, más útil y mejor en todos sentidos (aunque más compleja).

	Pantalla	*Modelo*	*CAD*
1. Habilidad necesaria	Media	Baja	Alta
2. Costo del equipo	Medio	Muy alto	Alto
3. Tiempo de arranque	Bajo	Alto	Alto
4. Tiempo de correcciones	Muy largo	Medio	Muy rápido
5. Tiempo de dibujo (una vez establecido)	Medio	Medio	Bajo
6. Intercambiable	Fácil	Fácil	Fácil
7. Disponibilidad de materiales	Moderada	Deficiente	Muy rápida
8. Escalas disponibles	Pocas	Muy pocas	Cualquiera/todas
9. Herramienta de venta	Buena	Excelente	Excelente
10. Facilidad de construir un archivo	Alta	Baja	Baja/moderada
11. Facilidad de generar alternativas	Buena	Buena	La mejor
12. Espacio de almacenamiento requerido	Moderado	Grande	Poco
13. Capacidad de copiarse	Fácil	Difícil	Muy rápida

Figura 14-6 Calificación de las técnicas para hacer distribuciones.

Debido al paso de los dibujos arquitectónicos de los primeros tiempos, a los avances en el dibujo, a las pantallas, a los modelos en 3D, y a los sistemas CAD de hoy día, los diseñadores miran con entusiasmo el futuro.

La figura 14-7 es la vista en planta del dibujo de una instalación de manufactura con ayuda de software de diseño asistido por computadora. Una vez determinadas las dimensiones de la planta con ayuda de las herramientas para hacer la distribución estudiada en los capítulos anteriores, se procede a dibujarla. La ubicación de cada centro de actividad se selecciona de acuerdo con la gráfica de relación de actividades y el diagrama de bloques, y se indica en el dibujo. Con el fin de facilitar la visualización, el diseñador emplea algunos comandos de la pantalla en forma de menú para manipular con facilidad y rotar el dibujo, de modo que se vea desde perspectivas y ángulos diferentes.

Con un clic del ratón se selecciona y coloca en el dibujo una librería vasta de iconos que representan equipos distintos de manufactura y manejo de materiales, herramientas y operadores. Si la ubicación u orientación del equipo no resulta satisfactoria, se modifica la localización del objeto con igual facilidad. La figura 14-8 muestra una presentación 3D de la planta de manufactura. Al sustituir los dibujos planos tradicionales y en 2D (dos dimensiones) por esta distribución en 3D generada por computadora, se debe mitigar cualquier dificultad que pueda tener para visualizar el arreglo de la instalación.

La siguiente generación de tecnología para auxiliar al planeador de instalaciones, es la tecnología de realidad virtual. Además de sus contribuciones significativas a la industria del entretenimiento, esta tecnología ya demostró su gran poder en la capacitación de pilotos de combate, médicos y cirujanos, y en la exploración subacuática y minera, por mencionar algunos ámbitos. Esta tecnología permitirá que el planeador "camine" a través de las instalaciones antes de que éstas siquiera existan. Mientras que la simulación por computadora ha dado un salto gigantesco para responder muchas preguntas y escenarios del tipo qué pasaría si..., la realidad virtual permitirá que el planeador tome la instalación para hacer una "prueba de manejo" verdadera. Imagine que inspecciona la bodega o los departamentos de envío y recepción para estudiar la eficiencia de sus operaciones, o que camina a través de un complejo de oficinas nuevo para ver si su estética es agradable y tiene funcionalidad adecuada.

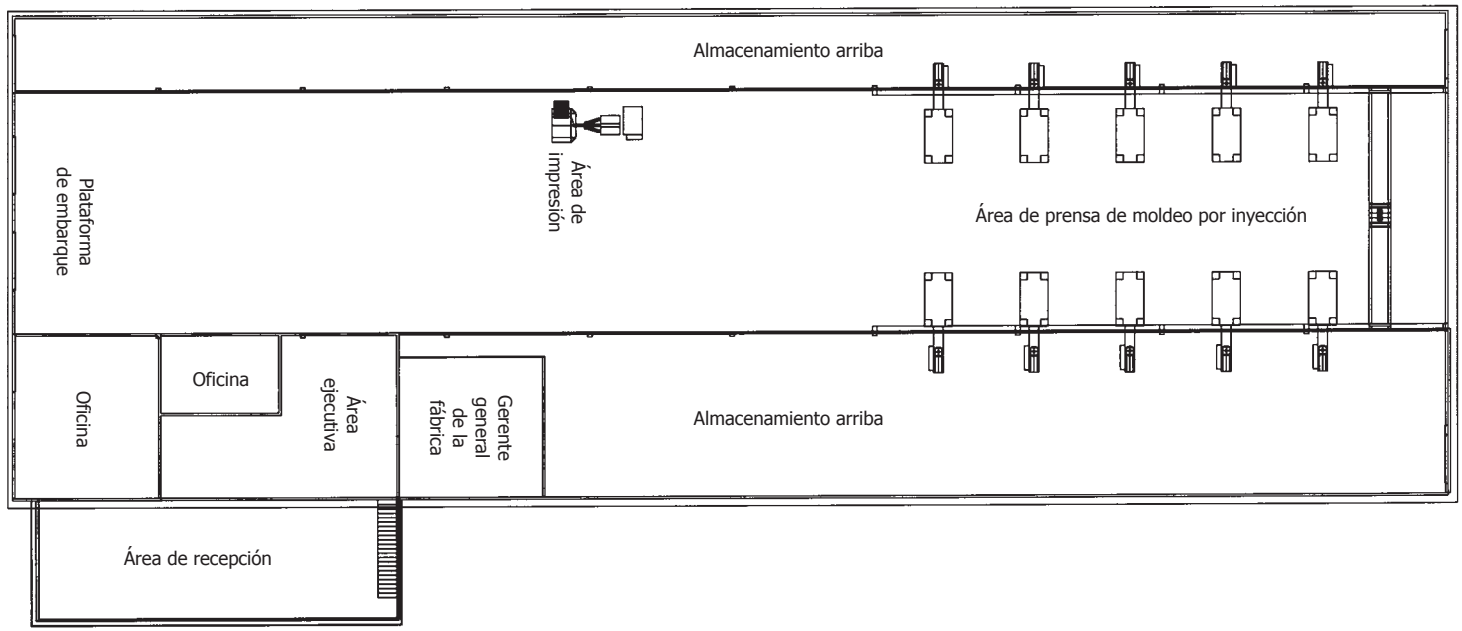


Figura 14-7 Distribución bidimensional de la planta (cortesía de Clark A. Cory, Purdue University).

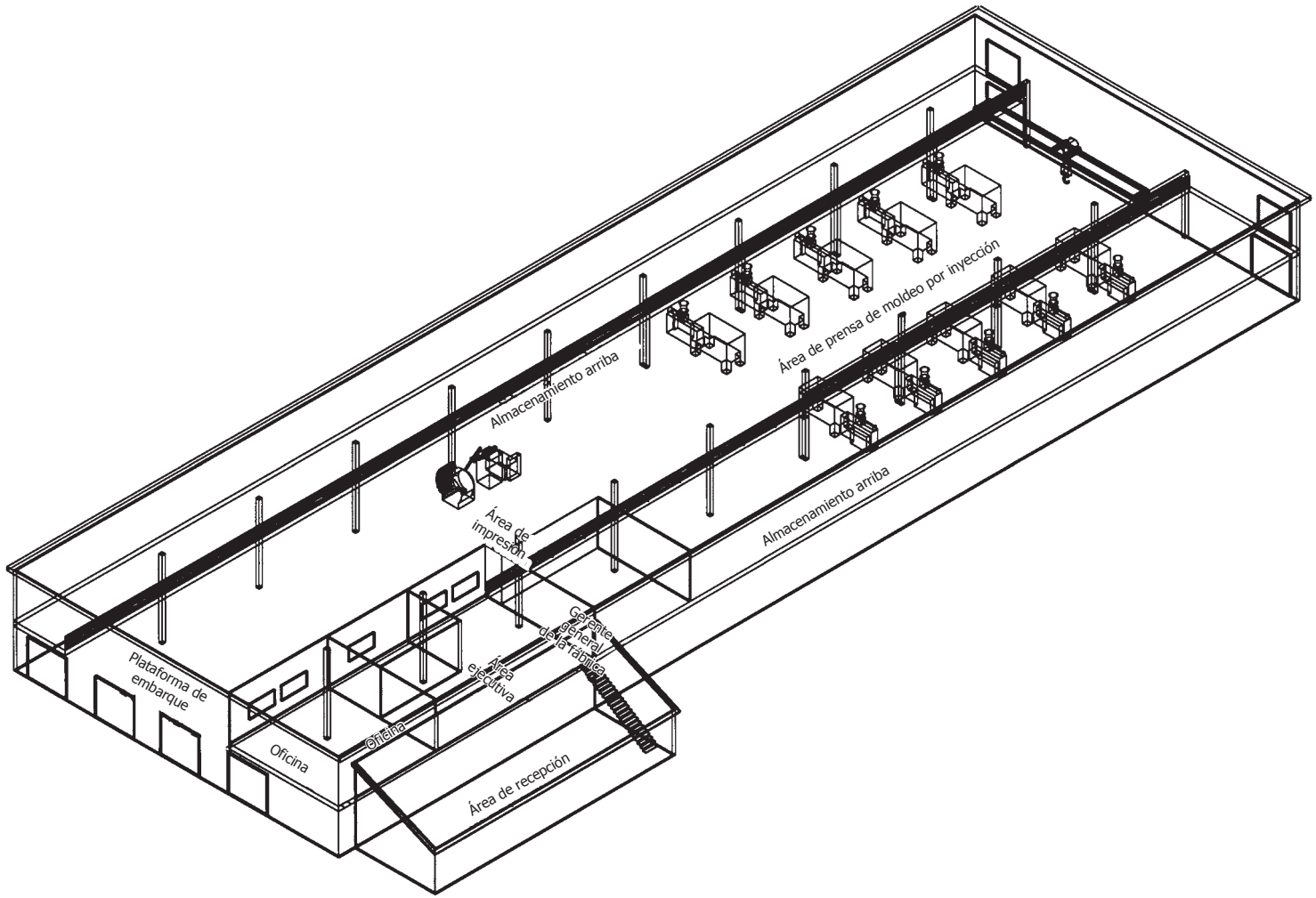


Figura 14-8 Distribución tridimensional de planta (cortesía de Clark A. Cory, Purdue University).

La realidad virtual ya entró a la escena de la distribución de instalaciones. Matsushita Works Ltd. de Japón, tiene salas de exhibición de cocinas que permiten a los clientes caminar por diferentes diseños de ellas sin tener que dejar sus asientos. Usan un equipo especial de anteojos conectados a una computadora. En los anteojos aparece una imagen en tres dimensiones de la cocina recién diseñada. Guantes electrónicos permiten que el usuario se dirija a través de la cocina; es casi como estar en ella de verdad. Esta tecnología revolucionará el diseño de instalaciones. No sólo ayudará a los diseñadores, sino también los ayudará a vender lo que planearon. La tecnología de realidad virtual está en rápido desarrollo, pero se requerirán años de trabajo para contar con sistemas de distribución de planta eficientes en cuanto a costo. La dirección de la tecnología para planear las instalaciones está marcada y el futuro promete ser muy emocionante.

El software de planeación de instalaciones y las computadoras se han vuelto más accesibles y amigables para el usuario. El intercambio de datos electrónicos se facilita gracias al desarrollo de estándares universales. Todos estos factores llevan a una reducción significativa en el tiempo y el costo del diseño de instalaciones. Distribuciones mejores se desarrollan más rápido, con mayor exactitud y economía, y resultan más fáciles de "venderse" a la dirección.

Las figuras 14-9 y 14-10 muestran dos dibujos de CAD de lo más reciente, proporcionados por S. I. Handling Systems, Inc.

PROCEDIMIENTO DE DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA: PLANTA DE CAJAS DE HERRAMIENTAS

Aquí es donde todo se reúne. El diagrama de asignación de áreas, ilustrado en el capítulo 13, muestra la forma y la disposición de cada departamento y área de servicio. En partes anteriores del texto ya se ha hecho la distribución de muchos de los departamentos que se enlistan a continuación, pero ahora deben ajustarse al diagrama de asignación de áreas, considerando el flujo del material y las restricciones de tamaño. Tal vez sea necesario realizar algunas modificaciones al diagrama de asignación de áreas o a la distribución del departamento.

Número de figura o página	*Departamento*
4–12	Soldadura
4–13	Ensamblado y empaque
7–5 a 7–10	Estaciones de manufactura (fabricación)
7–11	Departamento de pintura
8–2	Recepción de acero
8–3	Recepción de partes
8–16	Distribución de almacenes
8–7	Envíos
8–24	Bodega
p. 259	Mantenimiento
9–3	Entrada para empleados
9–5	Cuarto de casilleros
9–7	Sanitarios
p. 270	Cafetería
9–12	Servicio médico
pp. 414, 453	Oficina

Figura 14-9 Distribución de planta con CAD tridimensional (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

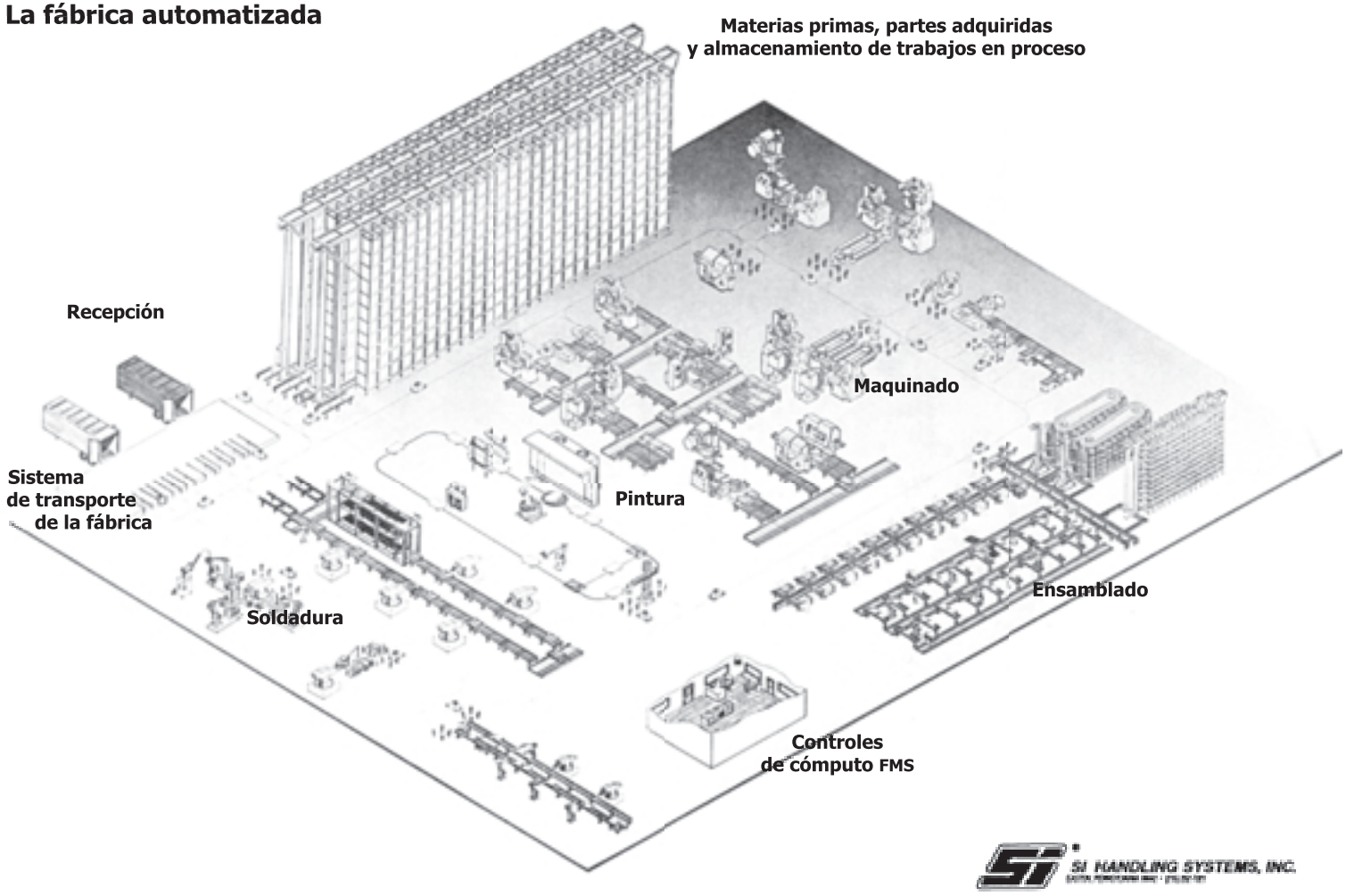


Figura 14-10 Distribución de planta con CAD (cortesía de S. I. Handling Systems, Inc.).

Con el diagrama de asignación de áreas como guía, estas distribuciones deben coordinarse en una distribución maestra final.

El procedimiento de distribución de la planta comienza con la ubicación de las paredes exteriores. Ésta es, por supuesto, una restricción. Una vez establecidos los muros del exterior, se ubican las puertas hacia fuera, las columnas y los pasillos, de acuerdo con el diagrama de asignación de áreas. Ahora, se pone en su lugar todo el equipo y las instalaciones para un departamento a la vez.

Siempre debe tomarse en cuenta el flujo del material. En cada etapa del proceso de distribución de la planta se considera el flujo de los materiales y las personas, pero el del material que sale de un departamento debe estar alineado con el punto inicial del departamento que sigue.

El insumo final de la distribución de la planta es el espacio. Todo debe tener un lugar; de otro modo estará en el pasillo. Una vez que todo está en su lugar en la distribución, el planeador de instalaciones debe seguir el flujo de cada parte desde la recepción hasta el envío, para asegurarse de que se satisface todo requerimiento. Ésta es la técnica del diagrama de flujo que se estudió en el capítulo 5. La figura 14-11 muestra la distribución final de la planta de cajas de herramientas. Compárela con la figura 5-14, que ilustra la distribución existente. ¿Es mejor? Para responder a esta pregunta se necesita hacer una evaluación.

Distribución de oficinas para la planta de cajas de herramientas

Si se comienza con el organigrama de la figura 2-7, se determina que el número de empleados en la oficina es de 11. Once personas por 200 pies cuadrados por persona es igual a 2,200 pies cuadrados. La técnica del nivel en la organización requeriría lo siguiente:

Gerente de planta	200
Secretaria	100
Contralor	150
Contador	75
Gerente de producción	150
Ingeniero de manufactura	100
Supervisores	75
Supervisor	75
Gerente de compras	150
Ingeniero de planta	150
Supervisor de mantenimiento	75
Total:	1,300 pies cuadrados
Tolerancia del 100 por ciento	1,300 pies cuadrados
Total necesario:	2,600 pies cuadrados

Se necesitan entre 2,200 y 2,600 pies cuadrados.

$$\sqrt{\frac{2{,}200}{2}} = 33 \text{ pies} \qquad \sqrt{\frac{2{,}600}{2}} = 36 \text{ pies}$$

Debido a que se trata de un número redondo, se elegirán 35×70 pies; 35×70 pies $= 2{,}450$ pies cuadrados.

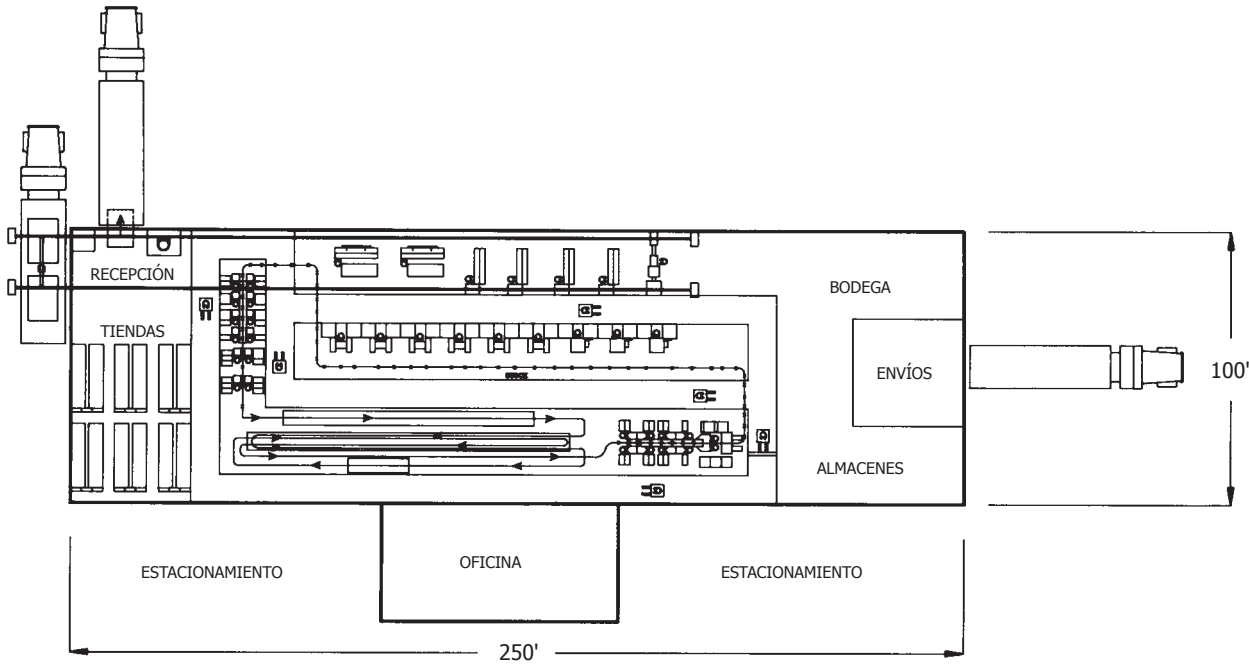


Figura 14-11 Distribución de la planta de cajas de herramientas.

La distribución de oficinas de la planta eléctrica ofrece un mejor ejemplo de la distribución detallada. La figura 13-4c ilustra la asignación de áreas, y la 13-5 enlista el resumen de requerimientos de área de oficina. Con estos dos recursos, se concluye que los requerimientos deben ajustarse en un espacio de 60×120 pies. En la figura 14-12 se presenta la distribución resultante.

EVALUACIÓN

Para decidir qué método o alternativa es mejor, primero deben hacerse mediciones del rendimiento. Al comenzar el libro se establecieron los objetivos de la planeación de las instalaciones. ¿Usted los cumplió? ¿Cuáles alternativas los satisfacen mejor? A lo largo del texto se estudiaron técnicas de medición del rendimiento. Aquí se enlistan una vez más para recalcar su importancia. La figura 14-3 es una colección de las gráficas de control del diseño de instalaciones, que incluyen las siguientes:

1. *Minimizar la distancia de recorrido.* ¿Cuántos pies viaja una parte a través de la planta? Entre más corto sea su recorrido, mejor. Un poco de recorrido no es tan malo como otros métodos.

   a. ¿Cuántos pies se recorren en forma automática? Esto se expresa como porcentaje del total de pies que se recorren, y se expresaría como la eficiencia del movimiento del material.

      Ejemplo: 1,525 representa el 76 por ciento de 2,000. Se grafica 76 por ciento (y debe hacerse). Los 1,525 pies de recorrido automático en relación con los 2,000 pies muestran qué tan bien lo ha hecho y cuánto potencial existe para mejorar.

$$\text{Razón de recorrido automático} = \frac{\text{pies en automático}}{\text{total de pies}} = \frac{1{,}525}{2{,}000} = 76 \text{ por ciento}$$

   b. El movimiento por gravedad representa energía gratuita. Si se desea alentar el uso de la gravedad, se calculará el porcentaje de distancia que se recorre por gravedad, y se graficará su evolución mes tras mes.

$$\text{Razón de gravedad} = \frac{\text{pies por gravedad}}{\text{total de pies}}$$

2. *Maximizar la utilización del espacio.* Esto se mide, grafica y mejora. Es posible incrementar esta utilización de muchas maneras.

   a. El espacio de pasillos se calcula con la división de los pies cuadrados de espacio de pasillos entre el total de espacio disponible.

$$a = \text{porcentaje de espacio de pasillos} = \frac{\text{3,150 pies cuadrados de pasillos}}{\text{10,000 pies cuadrados de la planta}} = 31.5 \text{ por ciento}$$

      Este porcentaje debe ser graficado y medido mes tras mes para observar la mejora, que consistiría en una menor tasa de porcentaje.

   b. La utilización del cubo de los almacenes y la bodega es el almacenamiento total disponible. El largo por el ancho por la altura de los almacenes o la bodega es

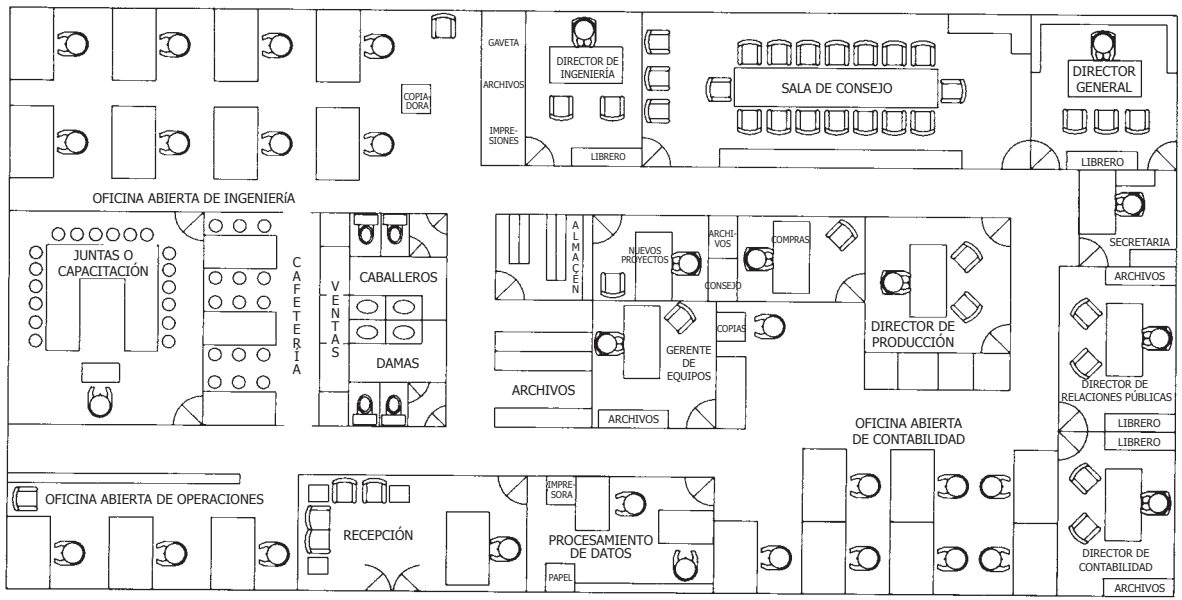


Figura 14-12 Distribución de oficinas de la planta de energía eléctrica.

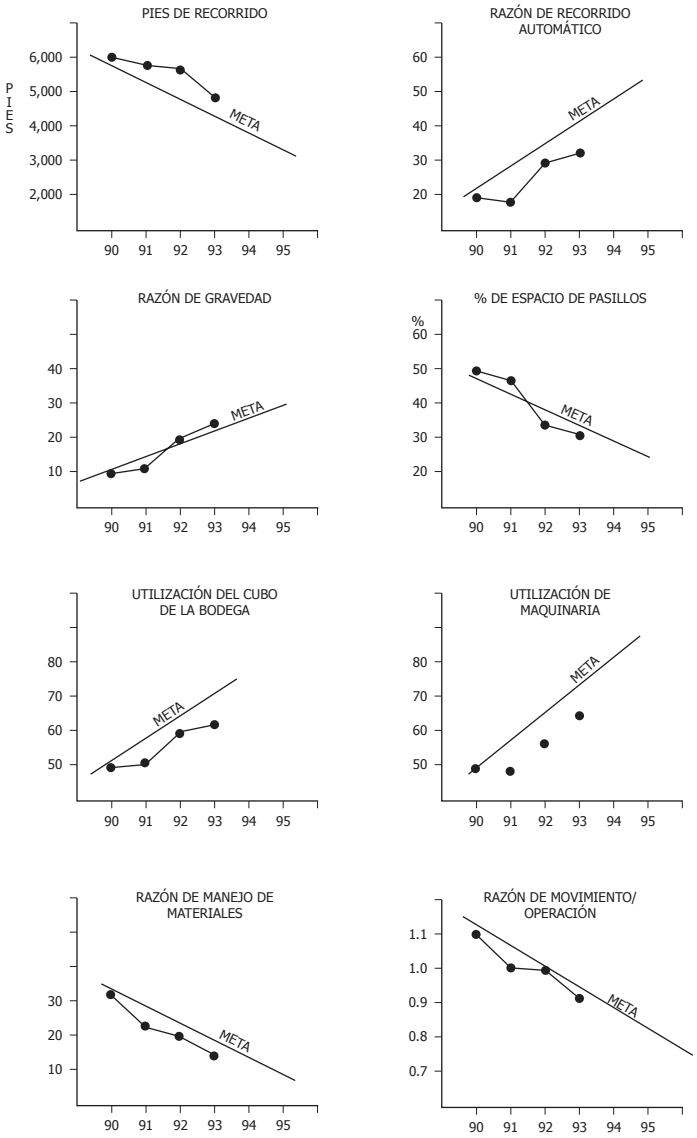


Figura 14-13 Distribución de oficinas de la planta de energía eléctrica.

igual a los pies cúbicos totales de almacenamiento disponible. Tal vez se acerque al 100 por ciento, pero el espacio de pasillos, el espacio entre materiales y no apilar en toda a todo lo alto, generaría un nivel de uso de 30 a 40 por ciento. La meta debe ser mejorar la utilización del cubo. Esto se mide así:

$$b = \text{porcentaje de la utilización del cubo} = \frac{\text{pies cúbicos de almacenamiento}}{\text{total de pies cúbicos}}$$

c. Se calcula la utilización del espacio de máquinas, así:

$$c = \frac{\text{utilización del espacio de máquinas}}{} = \frac{\text{espacio requerido por las máquinas}}{\text{total de espacio de la planta}}$$

Un incremento en este porcentaje mostraría una disminución del material en proceso, espacio de pasillos y servicios.

3. *Razón de utilización de maquinaria.* Una máquina tiene la capacidad de realizar de 1,000 a 2,000 ciclos por hora, pero es un operador quien debe descargarla, tomar la parte siguiente, cargar y operar los botones de funcionamiento. Esto disminuye el estándar entre 250 y 500 por hora (utilización de 25 por ciento). La carga automática incrementaría la salida en 400 por ciento.

$$a = \frac{\text{porcentaje de carga automática de máquinas}}{} = \frac{\text{núm. de máquinas que se cargan en forma automática}}{\text{total de máquinas}}$$

$$b = \text{porcentaje de utilización de máquinas} = \frac{\text{tiempo estándar}}{\text{máximo teórico}}$$

Para mejorar esta meta, la b representa una máquina sola o a todo el departamento o la planta. El objetivo es acercarse al 100 por ciento.

4. *Control de costos del manejo de materiales.*

a. $$\frac{\text{Porcentaje de quienes manejan materiales}}{} = \frac{\text{núm. de personas que manejan materiales}}{\text{personas de producción}}$$

o bien

$$\text{Razón de manejo de materiales} = \frac{\text{núm. de horas de manejo de materiales}}{\text{total de horas trabajadas}}$$

b. La razón del movimiento manual hacia las operaciones es igual al número de movimientos dividido entre el número de operaciones. Esto alentará la combinación de operaciones o la mecanización de los movimientos con el fin de eliminar los que son realizados a mano.

5. *Las razones de manufactura justo a tiempo miden cuánto tiempo pasa en proceso un producto* (en la planta). Se desea mover el material a través de la planta tan rápido como sea posible, a fin de reducir el inventario y los costos de llevarlo. Si se suman todos los tiempos estándar en horas por unidad, se tendría el tiempo teórico más corto que estaría un producto en la planta. Un fabricante de aparatos hace casi todas las partes de una lavadora y la ensambla en 3 1/2 horas o menos, por lo que tiene millones de dólares de inventario en la planta. Si se divide el valor del inventario en dólares entre el total de ventas anuales, se obtiene el número de rotaciones por año (rotaciones del inventario). Dos rotaciones igualan el valor de seis meses de inventario. Tres horas y media divididas entre 2,000 horas (seis meses con dos turnos por día) es un porcentaje muy pequeño. Con el uso de muchas de las técnicas estudiadas, éste podría incrementarse a más del 10 por ciento. ¡Los ahorros en el costo serían fabulosos!

$$\text{Razón del tiempo en proceso} = \frac{\text{duración del ciclo (total)}}{\text{tiempo total en proceso}}$$

6. *La técnica de la gráfica de origen-destino es una técnica de evaluación cuantitativa y produce una medición útil de la eficiencia.* La gráfica de origen-destino es un buen ejemplo de por qué son valiosas las técnicas de medición y evaluación.

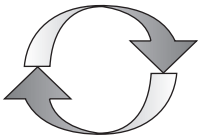
7. *La técnica de evaluación del costo es la más completa y la más usada.* El costo total del proyecto, los costos de operación, el precio de ventas y las ventas pronosticadas deben determinarse con gran exactitud, y también se necesita calcular el rendimiento sobre la inversión (RI), lo que da como resultado presupuestos y planes de operación que originan los objetivos de utilidad de la compañía. La técnica de evaluación del costo es obligatoria para las plantas nuevas, y la buena administración es un "deber" para las operaciones permanentes.

Todas las mediciones anteriores se evalúan y grafican sobre una base continua. La figura 14-13 muestra un ejemplo del uso de las razones y los indicadores clave de la mejora de la eficiencia de la distribución.

PREGUNTAS

1. ¿La distribución es tan buena como...?
2. ¿Cuáles son los dos tipos de distribuciones?
3. ¿Qué técnica de análisis de flujo depende de la distribución de la planta?
4. ¿Qué es el plano del plan?
5. ¿Qué es más costoso, el espacio en el frente del terreno o el espacio adicional en la profundidad?
6. ¿Hacia dónde se expandirá la fábrica? ¿Y la oficina?
7. ¿Cuánto terreno se debe comprar?
8. ¿Qué es el plan maestro?
9. ¿Cuáles son los cuatro métodos de obtención de un plan maestro?
10. ¿Cuál es el más caro? ¿Por qué?
11. ¿Cuáles son las escalas más comunes? Mencione dos.
12. ¿Existe un momento en que la mejor técnica sería la arquitectónica?
13. ¿Cuáles son las 10 medidas de rendimiento que se usan para evaluar las alternativas de distribución?
14. Diga cuáles deben ser las tendencias para lo siguiente:
    a. Distancia recorrida.
    b. Razón de pies en automático y razón de pies por gravedad.
    c. Espacio de pasillos.
    d. Utilización del cubo.
    e. Utilización del espacio de máquinas.
    f. Porcentaje de carga automática.
    g. Utilización de máquinas.
    h. Porcentaje de personas que manejan materiales.
    i. Razón de manejo de materiales.
    j. Tiempo en proceso.
15. ¿Cuáles son las ventajas (o desventajas) de la planeación de actividades asistida por computadora?
16. ¿Cómo influye en la planeación de instalaciones la estandarización de la tecnología de intercambio de datos electrónicos?
17. ¿Qué papel juega la realidad virtual en la planeación de instalaciones?

PROYECTO EN LA PRÁCTICA



Este segmento de "Proyecto en la práctica" lo llevará a su conclusión del diseño de una instalación de manufactura para la producción de Shade Tree Grills. Las figuras siguientes muestran la distribución final de la instalación. Los componentes de esta distribución, departamentos y centros de actividad varios, sus ubicaciones e interrelaciones, así como su tamaño, se basan en los requerimientos del proyecto determinados y articulados a través de etapas diferentes del proceso.

También se presentan en estas páginas conclusivas, datos adicionales, como costos de mano de obra directos e indirectos, y algunos otros indirectos y de equipo. Aunque con un enfoque somero, se hizo un esfuerzo fructífero para determinar el costo y el precio sugerido para el producto final.

Como se dijo en la introducción de este proyecto, este estudio de caso sólo intenta ilustrar un enfoque sistemático para diseñar una instalación de manufactura. La planeación exitosa también requiere creatividad y buen criterio. Se espera que con este ejemplo aprenda y lo aproveche.

VP
Pres.
HR
Vending
ENG
Cafeteria
Vending
Finished Product
Paint Booth
QUALITY
TOOL-ROOM
MAINTENANCE
WOMANS
INJ. MOLDING
STAMPING MACHINE
WELDER
Drill
SAND
Drill
BENDER
SAW-M
SAW-M
Raw Material Storage
Vending

Requerimientos de personal asalariado

Posición	Núm. de posiciones	Salario*	Total	Costo diario**
Presidente	1	$90,000	$90,000	$450.00
Vicepresidente	1	78,000	78,000	390.00
Ingeniero	2	54,000	108,000	540.00
Supervisores	6	48,000	288,000	1,440.00
HR	1	38,400	38,400	192.00
			Costo diario total	$3,012.00

* Incluye el 20% para prestaciones.
** Calculado para 200 días de producción al año.

Shade Tree Grills

Requerimientos de personal por hora

	Turno				
Posición	**1o**	**2o**	**3o**	**$ por hora***	**Costo diario**
Manejador de material	3	3	3	$11.40	$820.80
Operador de maquinaria	9	9	9	11.40	2,462.20
Empaque	13	13	13	10.20	3,182.40
Herramientas y dados	1	1	—	18.00	288.00
Mantenimiento	2	2	2	13.20	633.60
Mecánico	1	—	—	13.20	105.60
Calidad	1	1	1	11.40	273.60
Limpieza	2	2	2	11.40	574.20
Bodega	2	2	2	11.40	574.20
Envío	2	2	2	11.40	574.20
Recepción	3	3	3	11.40	820.80
Secretaria	3	1	1	11.40	456.00
				Costo diario total	$10,765.60

*Incluye 20% para prestaciones.

Shade Tree Grills

Costo del equipo

Cantidad	Nombre del equipo	Operación	Núm. de máquina	Costo por unidad	Total
1	Sierra Big 800	Cortar madera	B800	$400.00	$400.00
1	Sierra Big 800	Cortar acero	B800	400.00	400.00
1	MINSTER 300 Ton	Cortar, moldear	MNS300	1,100,000.00	1,100,000.00
1	IR 800	Pintar	IR800	20,000.00	20,000.00
3	Pulverizador portátil IR 525	Lijar	IR525	50.00	150.00
10	Cortadores ergonómicos	Recortar plástico	ERGCT	7.50	75.00
1	Jutec 850	Doblar	JTC850	1,200.00	1,200.00
1	NISSEI NS60	Moldear por inyección	NS60	30,000.00	30,000.00
2	E2	Taladrar	E2	275.00	550.00
1	Lanzador de arena Ryobi	Lanzar arena	RBS	350.00	350.00
1	BPS2	Hacer bolsas al vacío	J69	4,000.00	4,000.00

Costo total de una Shade Tree Grills

Costo de manufactura	Costo diario	Costo unitario
Costo de mano de obra por hora	$10,765.60	$7.17
Costo de salarios	3,120.00	2.08
Costo de materia prima	4,470.00	2.98
Costo de partes adquiridas	—	36.23
Costo de equipos e instalaciones*	5,000.00	3.33
		$51.79

*Con base en un periodo de recuperación de 10 años de $10,200 días hábiles por año, y 300,000 parrillas por año.

Las parrillas se venderán a detallistas y distribuidores a $75 cada una. El precio de venta al menudeo en promedio será de $119.95, aproximadamente, por una parrilla.

Nuestra utilidad será de $23.21 por parrilla, lo que hace un total de $6,963,000 por año.

Requerimientos de empleados

Turno	Horas	Salario	Total
1	42	7	49
2	39	2	41
3	38	2	40

Número total de empleados de Shade Tree Grills = 130

Shade Tree Grills

CAPÍTULO

15

Aplicación de la simulación y modelado en computadora

INTRODUCCIÓN

Los avances recientes en el hardware de las computadoras y el desarrollo del software han influido en la mayor parte de las áreas de los negocios y la industria, y el campo de la planeación de instalaciones no es la excepción. El uso de computadoras en la planeación de instalaciones no es desde ningún punto de vista una idea novedosa. Desde algunos años han existido varios paquetes de software. Algunos de los programas más antiguos y tradicionales han salido de escena para dejar paso a otros más recientes. El advenimiento de computadoras más poderosas y rápidas, y el desarrollo de paquetes de software orientados a menús amigables para el usuario, han hecho que usar la tecnología sea algo mucho más atractivo y, por tanto, más frecuente.

La simulación y el modelado actuales en computadora se están convirtiendo en parte integral del proceso de planeación y toma de decisiones del segmento de manufactura y servicios de la industria de Estados Unidos. Como resultado de la dinámica del mercado y la competencia global intensa, las empresas fabricantes de artículos y las que prestan servicios se ven forzadas a proporcionar una mejor calidad, sobre la base de eficiencia en el costo, al mismo tiempo que tratan de reducir en forma significativa el tiempo de producción o atención. La búsqueda de las fortalezas competitivas requiere mejora continua, cambios en el proceso y la implantación de tecnologías nuevas. Desafortunadamente, aun los sistemas de manufactura planeados con más cuidado, muy automatizados y sofisticados, no siempre son inmunes a la existencia de errores garrafales costosos o a fallas no previstas. Entre los ejemplos comunes de equivocaciones caras se encuentran el espacio insuficiente para tener inventario de artículos en proceso, estimaciones erróneas de las capacidades de las máquinas, flujo ineficiente del

material y cuellos de botella inesperados, errores en el ROI (rendimiento sobre la inversión) esperado para un elemento de equipo en particular, rutas congestionadas para los vehículos de guía automática (VGA), entre otros de una lista que podría continuar.

Varias generaciones de simulación y modelado en computadora se han aplicado a resolver problemas matemáticos complicados, o a analizar distribuciones estadísticas sofisticadas. El poder de la nueva generación de software ha incrementado mucho la aplicación del modelado en computadora como herramienta para resolver problemas, y ha creado oportunidades nuevas para mejorar la productividad en el campo de la planeación de instalaciones. Los paquetes de simulación disponibles, ya no requieren una formación sólida en matemáticas o lenguajes de programación de computadoras con objeto de realizar simulaciones interactivas del mundo real. Existe cierto número de paquetes de simulación avanzada amigables para el usuario que permiten simular el trabajo de una fábrica, el rendimiento de diferentes equipos de manejo de materiales, el ambiente de inventario justo a tiempo, problemas de bodega y logística, o el comportamiento de un sistema de tecnología grupal. Estos paquetes de simulación han demostrado ser una ayuda valiosa en los procesos de toma de decisiones. También requieren una inversión relativamente pequeña de tiempo por parte de quien comienza, con objeto de que adquiera el conocimiento funcional del proceso de simulación.

El empleo de la simulación en computadora no se limita al ambiente de manufactura. La industria de la salud, en cuanto a la administración de su cuidado, el establecimiento de políticas públicas al respecto y la aceleración de iniciativas para reformarla, enfrenta presiones para reducir sus costos y brindar un servicio mejor. Muchas instalaciones de cuidado de la salud recurren a la simulación en computadora como ruta de salvación. Los modelos para estudiar las actividades de las salas de emergencias, los procedimientos para dar seguimiento a los pacientes, los sistemas de cirugía para pacientes ambulatorios y las asignaciones de médicos y de otros recursos constituyen el principal centro de atención, pero de ninguna manera está limitado a esto.

DEFINICIÓN DE LA SIMULACIÓN EN COMPUTADORA

Se define "simulación" como una técnica experimental, que generalmente se realiza en computadora para analizar el comportamiento de cualquier sistema que opere en el mundo real. La simulación involucra un proceso o sistema en el que el modelo produce la respuesta del sistema real ante eventos que suceden en éste durante un periodo dado de tiempo.

La simulación se usa para predecir el comportamiento de sistemas complejos de manufactura o servicios, mediante la observación de los movimientos y la interacción de los componentes del sistema. El software de simulación genera reportes y estadísticas detallados que describen el comportamiento del sistema que se estudia. Con base en dichos reportes, se evalúan las distribuciones físicas, la selección del equipo, los procedimientos de operación, la asignación y la utilización de recursos, políticas de inventario y otras características importantes del sistema.

La modelación en computadora tiene dos características de importancia que colocan a la simulación aparte de otras formas de análisis. La primera es que es dinámica, en el sentido en que se observa el comportamiento del modelo durante el tiempo que dure la simulación. El análisis de qué pasaría si... es de naturaleza estática. Un modelo estático no cambia en función del tiempo. Si se fuera a simular el comportamiento de un dado, entonces la salida del modelo no se vería afectada por el tiempo. Sin embargo, si se simulara la utili-

zación o la falla de una máquina, o la acumulación del inventario de trabajos en proceso en una estación de manufactura, entonces se vería que la naturaleza de estos fenómenos no es estática. Es decir, la utilización o falla del equipo, el comportamiento de los sistemas de manejo de materiales y de transporte, y la interacción de actividades diversas en una celda de manufactura tienen naturaleza dinámica y la salida de tales modelos está determinada por el tiempo.

La segunda característica importante de la simulación en computadora es que se emplea un modelo estocástico en lugar de uno determinístico. Si, por ejemplo, el tiempo medio de falla (MTTF, por las siglas de *Mean Time to Failure*) de un elemento de equipo fuera de 1,000 horas, eso no significaría que éste fallara necesariamente una vez cada 1,000 horas. La expectativa de algo así generaría un modelo determinístico. Sin embargo, en el mundo real las fallas siguen una distribución estadística particular, que puede ser exponencial, Weibull, y otros. Un modelo aleatorio de simulación genera dichos sucesos de falla, u otros, de la vida real.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA SIMULACIÓN

Una ventaja que ha hecho que la simulación tenga amplia aceptación es que es directa y relativamente flexible. Sirve para analizar sistemas grandes y complejos que no se representan fácilmente con modelos matemáticos. Además, la simulación permite el estudio de los efectos interactivos de muchos componentes en un ambiente dinámico y estocástico, con la ventaja distintiva de dar al investigador un efecto visual claro. Por ejemplo, es posible estudiar en tiempo real los efectos de agregar un operador en una celda de manufactura, o la ventaja (o desventaja) de una pieza adicional de equipo en el centro de maquinado y el efecto conjunto que tiene en la salida la planta. Además de sus ventajas técnicas, los conceptos básicos de la simulación se comprenden con facilidad. Así, es frecuente que un modelo de simulación sea más fácil de justificar ante la dirección y los consumidores que la mayor parte de modelos analíticos y matemáticos.

La desventaja más grande de la simulación es que el desarrollo de algunos modelos muy complejos podría resultar demasiado costoso y quizá requiera mucho tiempo. Entonces, tomaría años construir un modelo de planeación corporativa, o uno de una planta grande de manufactura con todos sus componentes, actividades y servicios. Por tanto, un analista recurriría a una estimación rápida y gruesa, que tal vez no refleje todos los hechos esenciales. Otra desventaja es que algunas simulaciones no generan soluciones óptimas de los problemas y originan resultados sólo con base en el modelo construido para el análisis. Por lo anterior es responsabilidad del planeador estudiar con simulación varios escenarios con el fin de encontrar la mejor alternativa. La presencia de aleatoriedad en el proceso, en coincidencia con el enfoque de ensayo y error, produce resultados diferentes en cada corrida, lo que lleva a que sea difícil interpretar la salida. Sin embargo, un planeador perspicaz sacaría ventaja de la aleatoriedad de la salida para poner énfasis en el papel que desempeña el azar en la mayoría de eventos de la vida real, y para sugerir soluciones de la incertidumbre que seguro aparecerá.

LA SIMULACIÓN EN LA PLANEACIÓN DE INSTALACIONES

Los planeadores de las instalaciones emplean la simulación para estudiar aspectos diferentes de su diseño, de la planeación de su capacidad, de las políticas de inventario, de la dis-

tribución de oficinas y estacionamientos, de los sistemas de calidad y confiabilidad, de la planeación de bodegas y logística y de la programación del mantenimiento, por mencionar algunas posibilidades. Se evalúan alternativas de sistemas de manejo de materiales, como montacargas, VGA, sistemas de almacenamiento y recuperación automáticos (SARA), transportadores y acumulación. Por medio de la simulación, el planeador compara diferentes alternativas y estudia escenarios diversos para determinar, por ejemplo, si en una situación dada un transportador sería más eficaz que un robot o un VGA.

Actualmente, existe cierto número de paquetes amistosos para el usuario para simular y planear la distribución, cuyo costo es accesible. Estos paquetes de software ofrecen gran potencial de ayuda en el proceso de planear y optimizar la instalación completa, un sistema íntegro de producción, o sólo un departamento pequeño; o como herramienta para balancear una línea de ensamble sencilla. Las limitaciones sólo se encuentran donde llega la imaginación del planeador.

La simulación se usa para planear un ambiente de sistemas de manufactura flexible (SMF). El propósito de un SMF es producir una amplia variedad de partes con la que el programa de producción pueda cambiar con frecuencia. Un SMF consiste en un software complejo y una red integrada de sistemas de manejo de materiales. El sistema asigna partes diferentes a máquinas distintas y asigna los diversos recursos para obtener eficiencia máxima. La comprensión que los planeadores de las instalaciones tengan del sistema mejora mucho si observan, por medio de la simulación, qué clase de productos se seleccionan y cómo se asignan los recursos. Además, se puede estar alerta de los problemas que surgen y de las acciones correctivas por emprender cuando cambia la programación o la cantidad de las partes.

El uso de la simulación y el modelado en computadora también facilita el entendimiento de distribuciones de probabilidad que no son normales, como la exponencial, Poisson, o la binomial. Contra la creencia o los deseos populares, no todos los fenómenos que suceden en una instalación de manufactura, o en la industria en general, tienen una distribución de probabilidad normal. Gracias a que la mayoría de paquetes de simulación son capaces de analizar los datos preliminares para determinar la distribución de probabilidad más apropiada para una situación dada, se desarrolla un escenario más exacto para tales procesos estocásticos. Las razones de utilización de máquinas, los requerimientos de espacio, las políticas de inventario, los sistemas de manejo de materiales y las capacidades de las celdas de manufactura, se evalúan en realidad virtual antes de su implantación con errores costosos.

CÓMO FUNCIONA LA SIMULACIÓN

El propósito de la simulación es ayudar al tomador de decisiones a resolver un problema en particular. Se propone el esquema básico para construir un modelo de simulación. Este proceso de construcción de modelos se puede modificar y volver a plantear para que satisfaga las necesidades del planeador. El enfoque se usa para abordar de modo sistemático el problema de planeación de instalaciones y trabajar en busca de una solución lógica.

1. *Definición del problema.* Plantear el problema y enunciar los objetivos del estudio de modo que se conozca el propósito; es decir, ¿por qué estudio este problema, qué esperaba descubrir, y a qué preguntas quiero dar respuesta?

2. *Definición del sistema.* Determinar los límites y las restricciones del sistema en términos de disponibilidad de recursos. Es necesario recordar que todo sistema en la vida real enfrenta restricciones de tiempo, espacio y financieras, entre otras.

3. *Modelo conceptual.* Desarrollar un modelo gráfico para definir los componentes del sistema, las variables que lo constituyen y sus interacciones. Es aquí donde el planeador tiene la oportunidad de usar la lógica para construir el comportamiento del sistema en estudio, y para determinar si estos componentes se comportarán en orden o en desorden.

4. *Diseño preliminar.* Decidir acerca de la selección de aquellos factores que se piense son críticos para el rendimiento del desempeño, y seleccionar los niveles en que deben ser investigados; es decir, ¿qué datos se necesita recabar con el modelo, en qué forma y hasta qué grado? Los estudios de simulación generan un "mar" vasto de datos en el que el planeador corre el riesgo de ahogarse sin que alcance a ver la información crítica. No hay que oscurecer los datos cruciales con trivialidades.

5. *Preparación de la entrada de datos.* Hay que recordar el cliché de "si entra basura, sale basura". Debe asegurarse de la integridad de los datos de entrada. Es necesario identificar y recabar los datos que requiere el modelo y comprender que la salida del sistema sólo es confiable en la medida en que lo son los datos que entran.

6. *Traslación del modelo.* En este momento, el planeador desarrollará el conocimiento funcional del paquete de simulación mediante la formulación del modelo en el lenguaje apropiado de simulación.

7. *Verificación y validación.* El planeador de las instalaciones debe confirmar que el modelo en verdad representa al sistema para el que se concibió y opera como se espera, así como que la salida es representativa del sistema real.

8. *Experimentación.* Ahora realmente es posible apreciar el poder de la experimentación y la investigación. El planeador manipula el sistema en un ambiente en tiempo real y comprende cómo influyen los cambios en la salida del proceso. Si se agregan o eliminan recursos, o se usa un tipo diferente de éstos, la salida del proceso resultará afectada. Será posible estudiar estas modificaciones y su impacto a largo plazo.

9. *Análisis e interpretación.* El planeador hace inferencias de los datos que genera la simulación. De nuevo apreciará las condiciones en las que se obtuvieron los datos de entrada y se dará cuenta de hasta qué grado la salida depende de la validez de ellos.

10. *Implantación y documentación.* Ahora es posible registrar, documentar e implantar los resultados, junto con sus usos y limitaciones.

Las prácticas de modelación de sistemas se llevan a cabo por varias razones:

1. *Evaluación.* Determinar y medir qué tan bien se desempeña el diseño propuesto para un sistema, en un sentido absoluto si se compara con los criterios con los que se estableció. ¿Satisface el sistema dichos criterios, es decir: cumple con los requerimientos de producción, lo hace dentro del presupuesto, entre otras cosas?

2. *Comparación.* Comparar los diseños alternativos para ejecutar una función específica. Los planeadores seleccionan entre alternativas distintas haciendo la comparación crítica de ellas respecto del costo, el rendimiento y otros factores.

3. *Predicción.* Permite al planeador investigar el desempeño de un sistema propuesto en condiciones específicas durante cierto tiempo. En las condiciones estipuladas, el desempeño de un sistema se simula en cuestión de minutos u horas para cierto periodo de horas, días, o incluso años.

4. *Análisis de sensibilidad.* Aunque haya muchas variables en el sistema, sólo unas pocas que son críticas afectan el desempeño del proceso. El análisis de sensibilidad ayuda a determinar cuáles de los muchos factores y variables tienen la mayor influencia en las operaciones conjuntas del sistema.

5. *Optimización.* Una vez determinados los factores críticos, se intenta optimizar el plan mediante el establecimiento de cuáles o qué combinación de ellos produce la mejor respuesta del sistema en su totalidad.

6. *Análisis de cuellos de botella.* El planeador de las instalaciones descubre la naturaleza y la ubicación de los cuellos de botella que afectan el flujo del sistema.

PANORAMA DEL SOFTWARE DE DISTRIBUCIÓN Y SIMULACIÓN

Los planeadores de las instalaciones reciben muchos beneficios de dos categorías distintas de programas de software. La primera clasificación consiste en aquellos paquetes que ayudan a planear y diseñar la instalación. Software como STORM, FactoryCAD, FactoryPLAN, y SPIRAL, se incluyen en el grupo original de herramientas para la planeación, en tanto que PROMODEL, FactoryFLOW, FACTOR/AIM, y ARENA, se incluyen en la segunda categoría.

En las secciones siguientes de este capítulo, se estudiarán someramente algunas herramientas de planeación de instalaciones auxiliada por computadora.

DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN ASISTIDO POR COMPUTADORA

Entre las herramientas más recientes amigables para el usuario, que hay para hacer distribuciones a disposición de quien las planea, se encuentra FactoryCAD. Se trata de una herramienta poderosa de dibujo que se usa para elaborar distribuciones industriales y de manufactura. Por medio de la personalización de AutoCAD, FactoryCAD hace que sea fácil crear, detallar, mejorar y editar cualesquiera dibujos nuevos o existentes. El paquete contiene un instructivo que introduce a la persona al paquete, con ejercicios que debe realizar. FactoryCAD permite que los objetos de tamaño fijo aparezcan en su tamaño real. Es el usuario el que genera dichos objetos, o bien, los obtiene de librerías existentes, y los agrega a librerías para futuro uso. Otros bloques de FactoryCAD representan objetos de tamaño variable, tales como puertas, ventanas, plataformas, escritorios, etcétera.

Las barras de herramientas se usan para comandos comunes que se despliegan en los menús detallados. Entre estas barras de herramientas, las que ofrecen especial interés para el planeador de instalaciones son las industriales y de transportadoras. Los comandos de la barra de herramientas industrial de FactoryCAD incluyen grúas de puente, grúas de trabajo, armazones detallados, fosos, plataformas, fosos, *mezzanines*, y rieles de guarda. La barra de herramientas para transportadores genera distintos tipos de éstos, como transportadores automotrices de piso, de agarre según parámetros, y de rueda giratoria de tracción. Estos transportadores se colocan en el dibujo con sólo especificar la ruta y luego seleccionar el tamaño y el tipo que se desea. FactoryCAD hará el resto. Además de contar con una librería vasta de bloques de objetos, también dispone de distintos bloques arquitectónicos para el planeador de las instalaciones.

El comando para “animar” también resulta de interés. Al usarlo con varios equipos para el manejo de materiales, dicho comando sigue la ruta del equipo para garantizar que se haya dejado espacio suficiente.

FactoryCAD posibilita el dibujo de objetos en formato ya sea bidimensional (2D) o tridimensional (3D). Con el comando “2D to 3D convert”, los usuarios convierten objetos de 2D de FactoryCAD a objetos de 3D, con sólo seleccionarlos. La rotación del modelo también se realiza con la misma facilidad. Las figuras 15-1 y 15-2 ilustran presentaciones 3D que se crearon con FactoryCAD. La figura 15-1 muestra un sistema de banda transportadora, y la 15-2 ilustra un área de la línea de ensamble. Ambos dibujos se crearon con ayuda de menús en pantalla y librerías existentes de iconos y bloques.

Las capas y sus manipulaciones, tales como copiar, mover, importar, exportar, congelar, etc., son otras de las características del paquete.

Otra herramienta para la planeación de instalaciones asistida por computadora es FactoryPLAN. Se trata de una herramienta para diseñar y analizar distribuciones con base en lo deseable que resulte la cercanía de distintos departamentos, áreas de trabajo, oficinas, áreas de almacenamiento o celdas de manufactura. A través de una serie de opciones en pantalla a las que se accede a través de menús, los diseñadores asignan códigos con base en la proximidad deseada, la intensidad del flujo de materiales, o una combinación de los dos valores.

Mientras que FactoryCAD auxilia en el dibujo de la distribución de la planta, FactoryPLAN es una herramienta de planeación que se usa para analizarla y optimizarla. El aspecto más importante de este software es que auxilia en el análisis de las relaciones entre las distintas áreas de trabajo de la planta. El programa se usa tan sólo para eliminar el tedio del método manual al momento de construir la gráfica de relación de actividades, o puede usarse

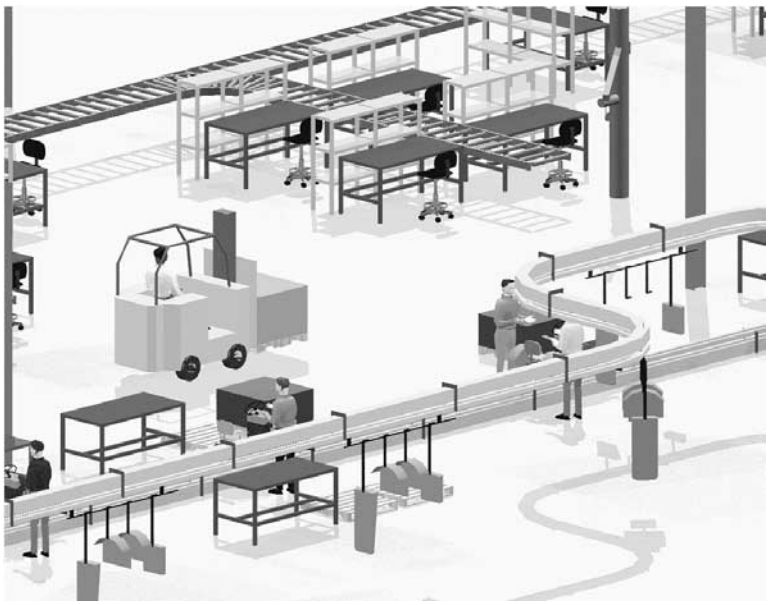


Figura 15-1 Sistema de transportador, dibujado en tres dimensiones por medio de FactoryCAD (cortesía de Engineering Annomation, Inc.).

Figura 15-2 Ilustración tridimensional que representa una operación de ensamblado, creada con FactoryCAD (cortesía de Engineering Annomation, Inc.).

en un ambiente interactivo, para agregar, definir y modificar áreas de trabajo en forma dinámica. Se asignan los códigos de relación de actividades, como A, E y X, y sus ponderaciones respectivas. Además, los códigos de razón, como equipo compartido, movimientos de personal, o ruido y suciedad, etcétera, se colocan en la gráfica o en el dibujo mismo. Con los códigos de relación en su lugar, FactoryPLAN calcula la medición cuantitativa o da una calificación para la distribución. El paquete también dibuja líneas de flujo haciendo uso de varios tamaños y colores de línea para ilustrar qué tan pesados son los patrones de tráfico. Las áreas de trabajo se mueven con sólo hacer clic y arrastrar el objeto o centro de actividad para colocarlo en una ubicación diferente y mostrar la manera en que se afectaría la instalación en la búsqueda de una distribución mejor. El dibujo nuevo se califica. La calificación se compara en forma cuantitativa con la distribución anterior.

Por medio del análisis sistemático de las relaciones de actividad, FactoryPLAN se emplea para hacer diseños de un edificio nuevo o para analizar y rediseñar la distribución existente. Si se integra FactoryCAD y FactoryPLAN, el planeador podría moverse con facilidad y rapidez entre bosquejar, planear, y evaluar las diferentes alternativas.

FactoryOPT, en conjunción con FactoryPLAN, determina las ubicaciones óptimas de los centros de actividad, con lo que se llega a una distribución óptima de la planta. El programa crea una gráfica adyacente con base en los datos de proximidad y los datos de relación de flujo introducidos por el diseñador. Junto con la información sobre el espacio, FactoryOPT crea de manera automática un diagrama de bloques. Sin embargo, el diseñador tiene mucho control del diagrama de bloques generado por el paquete. Los algoritmos que usa

FactoryOPT se manipulan con la declaración de distintas variables. Con dicha declaración es posible hacer 324 combinaciones. Seguramente quienes planeen las instalaciones serían capaces de encontrar la que fuera adecuada para el algoritmo de la distribución que desean.

Análisis del desempeño de la distribución asistido por computadora

En los párrafos siguientes se estudian brevemente dos paquetes de software que ayudan al diseñador en la evaluación y el análisis de varias distribuciones alternativas.

Es probable que FactoryFLOW sea la primera herramienta de análisis que integra el dibujo real de instalaciones y las trayectorias de flujo del material con los datos de producción y manejo de materiales. Como resultado de dicha integración, FactoryFLOW da al planeador la capacidad de ver y manipular problemas espaciales en un medio espacial. El software incorpora cantidades grandes de datos, inclusive archivos del producto y las partes, volúmenes de producción, rutas de las partes, distancias de las rutas, datos de manejo de materiales, y costos fijos y variables. Por tanto, en forma rápida y realista se determinan las rutas críticas, los cuellos de botella potenciales, y la eficiencia del flujo. El sistema también provee un conjunto de reportes de texto detallados, que incluyen el costo de los movimientos individuales y combinados.

El planeador, en tiempo real, hace cambios fáciles al modelo, a las rutas, a los volúmenes de producción, al equipo para manejo de materiales, y a otras variables del sistema con objeto de examinar alternativas diversas. El análisis ayuda al diseñador a que elimine o reduzca las etapas sin valor agregado, para reducir distancias de recorrido, incrementar la producción de artículos, reducir el inventario de trabajos en proceso y determinar los requerimientos de manejo de materiales.

FactoryFLOW crea gráficas por medio de líneas de flujo "inteligentes" ideales para resolver problemas de flujo y ayudar a ilustrar las distancias totales de recorrido, sus intensidades y costos; justificación muy convincente para la dirección que tiene como fin cambiar la distribución hacia la mejora. FactoryFLOW genera de modo automático comparaciones numéricas entre las rutas de flujo y las distribuciones alternativas de máquinas y otras áreas de trabajo. El paquete sitúa el flujo en forma direccional, así como las leyendas del dibujo para facilitar la visualización. Luego, estas líneas inteligentes se podrían someter a prueba. El sistema realiza cálculos euclidianos y reales de rutas y distancias. Los reportes detallados muestran distancias individuales y totales, costos, número de movimientos y sus tiempos respectivos. Otros reportes incluyen gráficas de intensidad de recorrido y reportes de flujo.

La figura 15-3 muestra la distribución de una fábrica y las líneas de flujo que genera FactoryFLOW, con base en los códigos de relación que suministra el planeador. Se invita a a poner mucha atención en la longitud y el espesor de dichas líneas, que ilustran la intensidad del flujo del material entre centros de actividad. Con base en este tipo de análisis de flujo, los centros de actividad se reacomodan para mejorar y optimizar la distribución. La figura 15-4 muestra una mejora significativa, como lo ilustra el menor número de líneas más delgadas. Es interesante observar que, para la misma demanda del producto, la distancia que recorren las partes se redujo en un 65 por ciento.

FactoryFLOW también hace reportes de congestión de pasillos y los clasifica con base en su uso y congestión. Cada categoría, por ejemplo, el 25 por ciento superior o el 25 por ciento siguiente, muestra el número de viajes por año y los costos monetarios que tienen. Después del análisis inicial se generan alternativas con base en los resultados que calcula el paquete.

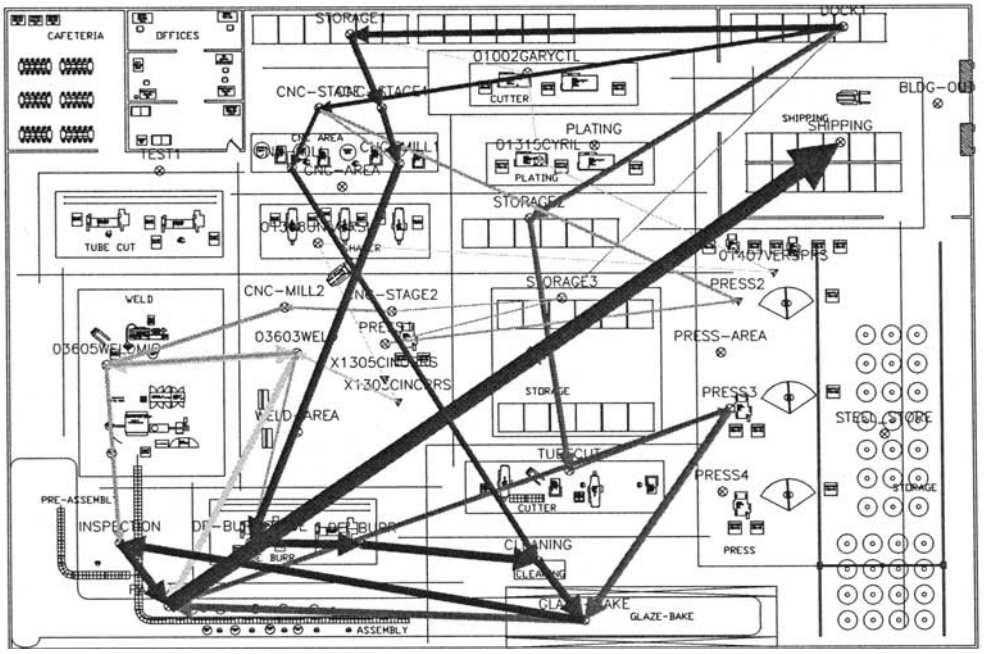


Figura 15-3 Líneas de flujo generadas por FactoryFLOW con base en los códigos de relación que suministra el planeador (cortesía de Engineering Annomation, Inc.).

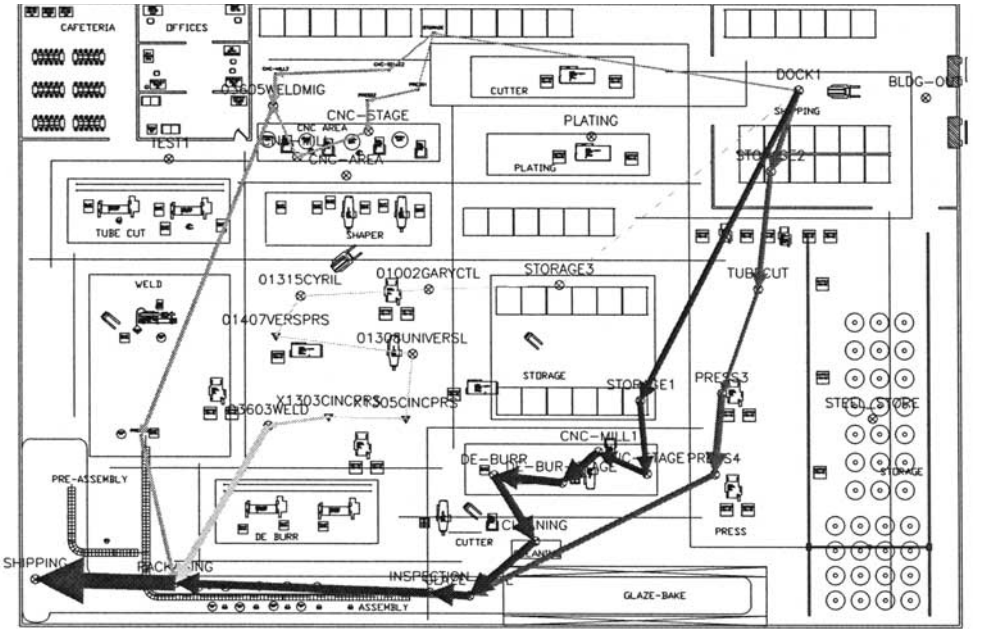


Figura 15-4 Líneas de flujo generadas después del análisis con FactoryFLOW (cortesía de Engineering Annomation, Inc.).

ProModel es una herramienta de simulación y análisis amigable para el usuario, a disposición del planeador de instalaciones. El software ayuda a analizar una instalación existente o a desarrollar una planta nueva.

El paquete de simulación, mediante una librería abundante en iconos y menús en pantalla, permite definir una instalación completa de manufactura, un centro de distribución o una celda sencilla de producción. El planeador define los parámetros o las variables críticos de operación dentro de la instalación, tales como máquinas y etapas intermedias, partes y materias primas, rutas, y llegadas de partes y materiales. Diferentes iconos que definen con claridad el equipo, los materiales y las diferentes partes, representan estas entidades.

La figura 15-5 ilustra una muestra representativa de iconos que se encuentran disponibles para el modelista. Por medio de facsímiles realistas del equipo, sistemas de manejo de materiales y partes, el planeador de las instalaciones define la distribución física y el arreglo de la planta. Además, con el empleo de una característica autoconstruida se guía al usuario en la definición de la cantidad, las rutas y, por último, el destino de cada parte.

Una vez que todo está en su lugar, el planeador ejecuta la etapa de simulación. Aunque ésta puede ejecutarse sin animación, con ella se agrega una dimensión especial a toda la simulación. En la pantalla de la computadora se observa la instalación completa, o una parte seleccionada, en movimiento. Además de evaluar la distribución con base en cierto número de factores tales como la utilización del espacio y los recursos, análisis del costo, flujo de materiales y producción total de la planta, se plantean varios escenarios del tipo qué pasaría si... a fin de llegar a la solución definitiva, o, al menos, casi definitiva. ¿Se debe invertir en

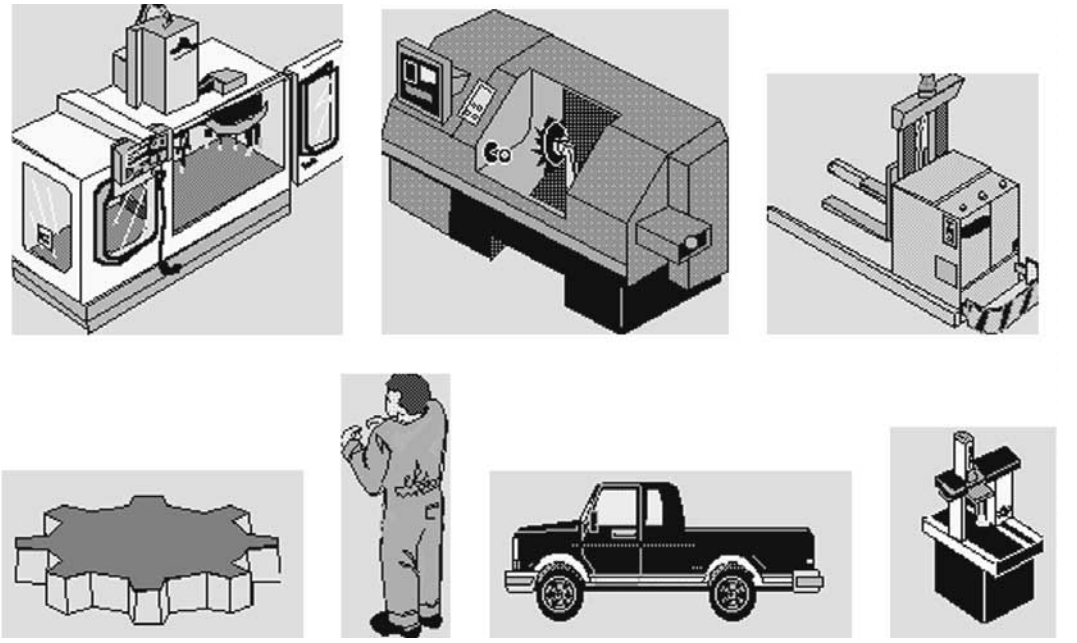


Figura 15-5 Muestra de iconos de que dispone el modelista (cortesía de ProModel Corp.).

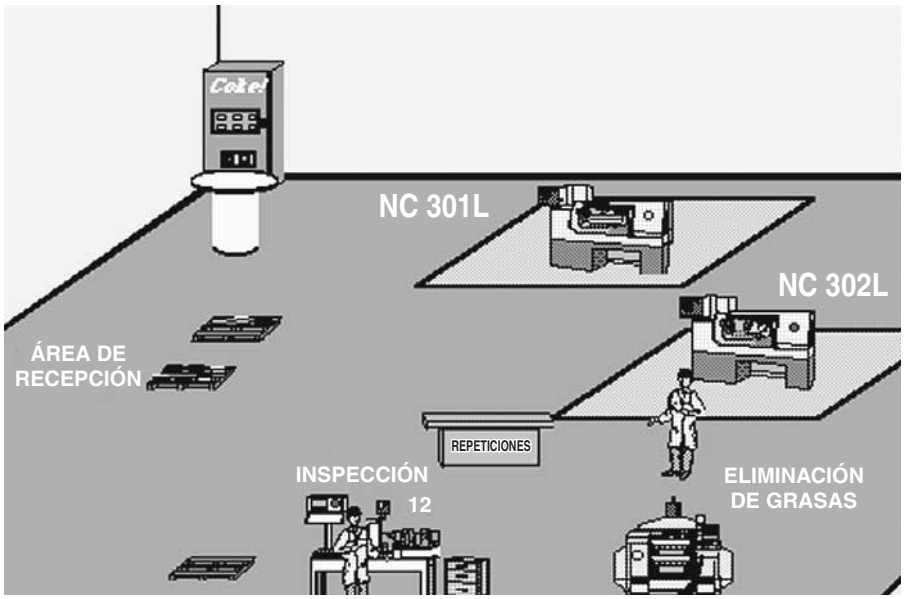


Figura 15-6 Centro de maquinado CNC (cortesía de ProModel Corp.).

una máquina nueva? ¿Cuál es el efecto de la reducción del lote en el conjunto del sistema? ¿Un cambio en las rutas afectaría la producción? ¿Cómo influiría en el proceso una modificación en el sistema de manejo de materiales? Se prueban estos y otros muchos escenarios y en cuestión de minutos se obtienen los resultados de largo plazo. El sistema produce estadísticas abundantes que muestran los resultados de las corridas de simulación.

La figura 15-6 ilustra una celda sencilla de manufactura NC de operaciones de maquinado, una eliminadora de grasas y un centro de inspección, y la figura 15-7 muestra un sistema *kanban* simplificado.

Los datos que el programa recaba y analiza permiten que el usuario tome decisiones informadas acerca de las mejoras y la modificación de la distribución. La figura 15-8 es un atisbo de algunas de las estadísticas que genera el sistema.

Si los planeadores proponen mejorar la eficiencia de la distribución con el aumento de personal o la introducción de cierta pieza de equipo, entonces hacen dichas modificaciones en el modelo. Con el ensayo de escenarios distintos de qué pasaría si... y la ejecución de la simulación, se determina si los cambios propuestos en verdad tendrán un efecto positivo en la instalación de manufactura antes de implantarlos en la realidad del piso de la fábrica.

ESTUDIOS DE CASO

A continuación se presentan tres estudios de caso de diferentes áreas de la manufactura y el cuidado de la salud, con el fin de ilustrar la aplicabilidad de la simulación y el modelado en computadora.

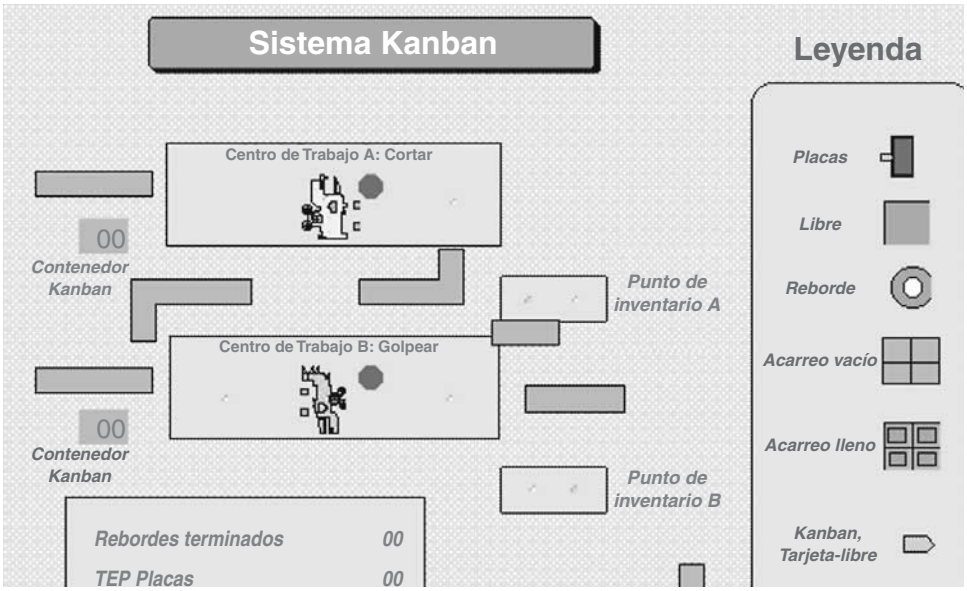


Figura 15-7 Sistema Kanban de administración de inventarios (cortesía de ProModel Corp.).

La simulación en la manufactura

Una compañía manufacturera de llantas y cámaras utilizó la simulación en computadora para auxiliarse en la implantación de un paquete de programación en una instalación de grandes volúmenes. La finalidad del proyecto era desarrollar una herramienta de análisis con la que el equipo de planeación de la producción vigilara y evaluara un programa de producción. También se buscaba estudiar otros conceptos como la capacidad de almacenamiento y su utilización, las restricciones de herramientas y la necesidad de equipo adicional. El modelo simulaba etapas distintas de la fabricación de llantas y operaciones de corrección, así como las necesidades de almacenamiento de partes en procesos relevantes. El modelo era capaz de variar el programa de producción y la mezcla de los productos, así como los parámetros críticos de la producción que permitirían la reducción de costos clave de los cambios, en especial, los de la mano de obra y los desperdicios.

El modelo permitió que el fabricante comparara alternativas de escenarios de programación e hiciera pruebas y depuraciones de ellos antes de implantarlos.

La simulación en el cuidado de la salud

Los sistemas del cuidado de la salud también se benefician de la simulación y el modelado. Uno de dichos casos es el estudio de simulación que se llevó a cabo para evaluar y mejorar las operaciones de los departamentos de emergencia en ciertas instalaciones de salud de Florida. La instalación, que maneja cerca de 60,000 pacientes al año, está compuesta por 33 cuartos y se divide en tres unidades. Cada unidad tiene su propio personal y distintas horas de operación. El propósito de la simulación fue estudiar la secuencia de las actividades de asignación de prioridades en la atención y el registro, examinar el efecto que tenían los

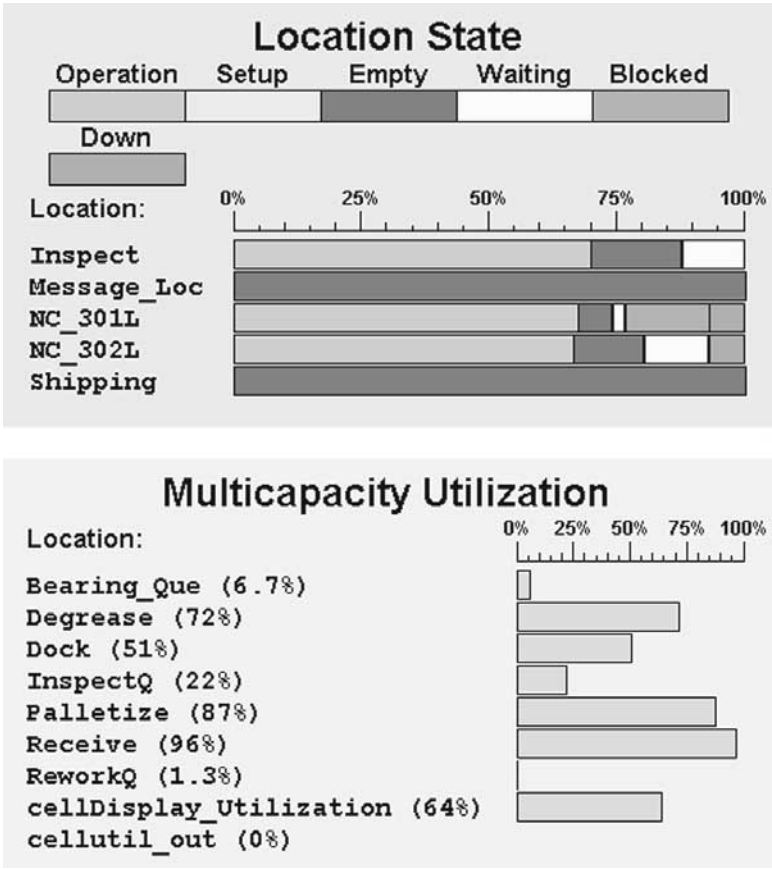


Figura 15-8 Algunas estadísticas que proporciona la simulación de un centro de maquinado (cortesía de ProModel Corp.).

expedientes de control que se dejaban en las camas cuando eran utilizados por enfermeras y médicos, y proporcionar un sistema de apoyo más oportuno para la toma de decisiones.

El modelo analizó varios escenarios que se centraban en la secuencia y la localización de las funciones para establecer la prioridad en la atención y el registro; el uso del equipo de rayos X, las horas de operación, las órdenes de trabajo para los médicos, y la mejora de los tiempos de entrega del laboratorio. El modelo arrojó algunos resultados preliminares. En primer lugar, mostró que tanto el criterio de selección para dar prioridad en la atención así como los registros eran actividades que se encontraban sobre la ruta crítica. Es decir, la cantidad de tiempo que requerían afectaba de manera significativa el tiempo total del trabajo. Además, el modelo mostró que la ubicación de dichas actividades no afectaba el rendimiento conjunto del sistema.

El modelo también demostraba que no se requerían instalaciones adicionales de rayos X para los pacientes sin urgencia, a pesar de la creencia generalizada de que se les bombardeaba constantemente con ellos. El tercer punto que el modelo descubrió fue que la reducción de las horas de operación en dos de las unidades no afectaba a la tercera. El estudio

demostró que las horas podrían recortarse y aun así se mantendría el flujo apropiado de los pacientes.

Los descubrimientos del estudio ayudaron a tomar las decisiones para mejorar la utilización conjunta de los recursos, redujeron la espera total de los pacientes e influyeron de manera positiva en la percepción que tenían éstos de las instalaciones.

La simulación en el manejo de desechos

Después de que el Congreso cambiara los requerimientos normativos y el U.S. Department of Energy (DOE) decidiera eliminar el periodo de arranque de la Planta Piloto de Confinamiento de Desechos se hizo evidente la necesidad de contar con una herramienta analítica capaz de simular las actividades del manejo de materiales en condiciones variables. Se desarrolló un modelo de simulación con el fin de estudiar y contar con un sistema de eliminación seguro y permanente de los materiales de desecho generados por ciertas actividades de defensa.

Se planeó un periodo inicial de cinco años para el arranque y las pruebas, en la preparación de la operación a toda su capacidad, lo que daría oportunidad de evaluar y realizar las modificaciones necesarias en el diseño. Sin embargo, el periodo de arranque se eliminó y se estableció una fecha de arranque con toda la capacidad de operación.

Se diseñó y usó con éxito un modelo de simulación para determinar la configuración y la utilización óptima de la instalación existente, para identificar el equipo y la modificación del proceso que se necesitaba y para definir los recursos que se requerían para atender una tasa reducida de recepción de desechos.

PREGUNTAS

1. Defina *simulación*.
2. ¿En qué difiere un modelo matemático de uno de simulación en computadora?
3. ¿Qué quiere decir modelo "estocástico" y en qué se diferencia de uno "determinístico"?
4. ¿Cuál es la diferencia entre un modelo dinámico y uno estático?
5. Explique algunas ventajas y desventajas de la simulación en computadora.
6. ¿Cómo visualiza el uso de la simulación en computadora para planear las instalaciones de manufactura?
7. Explique cómo y por qué se ensayan escenarios del tipo qué pasaría si... cuando se diseña una instalación.
8. ¿Cuáles son las dos categorías de paquetes de software de distribución de instalaciones asistida por computadora?
9. Al emplear la simulación, ¿por qué es importante definir el problema y el sistema?
10. ¿Por qué es significativa la integridad de los datos de entrada?

CAPÍTULO

16

Vender la distribución

Terminó la parte fácil. Ahora es el momento de buscar la aprobación de los meses de trabajo duro. Todo este libro se enfocó en recabar y analizar los datos para producir la mejor distribución posible. Si la dirección sigue el razonamiento que usted hizo, llegará a la misma decisión. El trabajo del planeador en cuanto a "vender la distribución" es conducir a la dirección a través del proceso de razonamiento. El informe escrito acerca del proyecto debe hacer exactamente eso: llevar al lector hacia la misma conclusión a la que llegó. El error más grande que cometen los planeadores de las instalaciones es suponer que la dirección sabe más sobre el proyecto de lo que sabe en realidad. Suponga que ellos no saben nada (como lo hizo al comenzar este proyecto) y demuéstreles el enfoque sistemático que emprendió.

EL INFORME DEL PROYECTO

La estructura del informe del proyecto se introdujo en el capítulo 1, en el procedimiento de 24 pasos para elaborar la distribución de la planta. Ahora que terminó la planta de cajas de herramientas, el esquema específico para elaborar el informe del proyecto sería el siguiente:

1. El objetivo es hacer la distribución de una planta de manufactura y los servicios de apoyo, con el fin de producir 2,000 cajas de herramientas por cada turno de 8 horas de trabajo y alcanzar las submetas siguientes:
   a. Minimizar el costo unitario.

   b. Optimizar la calidad.
   c. Alentar el uso eficaz de recursos, como personal, equipo, espacio y energía.
   d. Proporcionar a los empleados conveniencia, seguridad y comodidad.
   e. Controlar los costos del proyecto.
   f. Alcanzar la fecha esperada de inicio de la producción.
   g. Minimizar el inventario de los trabajos en proceso.
2. Establecer un volumen y la tasa de producción de la planta (valor *R* o tiempo del proceso):
   a. 2,000 unidades por día.
   b. 10 por ciento de fatiga del personal y tolerancia de retrasos.
   c. 80 por ciento de rendimiento histórico.
   d. Valor R de .173, o 5.8 juegos de partes por minuto por cada operación en la planta.
3. Los dibujos del producto deben incluir lo siguiente:
   a. Planos (figura 2-1).
   b. Dibujo del ensamble (figura 2-2).
   c. Dibujo de desglose (figura 2-3).
   d. Lista de partes (figura 2-4).
4. Enunciar la política de administración, que debe incluir lo siguiente:
   a. Política de inventario: mantener un SUMINISTRO para 30 días.
   b. Política de inversión: 50 por ciento de ROI.
   c. Programa de arranque: fecha.
   d. Decisiones de fabricar o comprar partes (figura 2-5).
   e. Organigrama (figura 2-7).
5. El proceso de diseño debe incluir:
   a. Hoja de ruta para cada parte "fabricada" (figuras 2-4 y 4-3), inclusive estándares de tiempo.
   b. Número de máquinas requeridas (figura 4-4).
   c. Gráfica de ensamblado (figura 4-8).
   d. Estándares de tiempo de ensamblado (figura 4-9).
   e. Velocidades del transportador (pintura, 17.34 pies por minuto; ensamblado, 11.56 pies por minuto; consulte la página 109).
   f. Balanceo de la línea de ensamble (figura 4-11).
   g. Distribución de la línea de subensamble (figura 4-12).
   h. Distribución del ensamblado y el empaque (figura 4-13).
   i. Gráfica del proceso (figura 5-11).
   j. Diagrama de flujo (figura 5-14).
   k. Gráfica de las operaciones (figura 5-17).
   l. Gráfica de flujo del proceso (figura 5-18).
6. La relación de actividades debe incluir lo siguiente:
   a. Diagrama de relación de actividades (figura 6-1).
   b. Hoja de trabajo (figura 6-2).
   c. Diagrama adimensional de bloques (figura 6-4).
   d. Análisis del flujo (figura 6-4).
7. El diseño de la estación de manufactura incluirá:
   a. Distribuciones de la maquinaria (figuras 7-5 a 7-9).
   b. Determinación del área (figura 7-10).
   c. Distribución del departamento de pintura (figura 7-11).
   d. Pasillos.

8. En los servicios auxiliares deben incluirse:
   a. Recepción (figuras 8.2 y 8-3).
   b. Envíos (figura 8-7).
   c. Almacenes (figura 8-16).
   d. Bodega (figura 8-24).
   e. Mantenimiento (página 259).
9. Entre los servicios para empleados estarán:
   a. Estacionamientos (página 264).
   b. Entradas para empleados (figura 9-3).
   c. Cuartos de casilleros (*lockers*) (página 268).
   d. Sanitarios (página 269).
   e. Cafetería (página 270).
   f. Servicios médicos (figura 9-12).
10. La oficina incluirá:
    a. Organigrama (figura 2-7).
11. En la asignación de áreas se incluirá:
    a. Hoja de trabajo de requerimientos de espacio total (figura 13-1).
    b. Tamaño del inmueble (capítulo 13).
    c. Diagrama adimensional de bloques (figura 13-2).
    d. Diagrama de asignación de áreas (figura 13-3).
12. Sistemas y requerimientos del manejo de materiales:
    a. Tipos de estado y número de unidades para manejar materiales.
    b. Cálculo de las velocidades de transportador (pies por minuto).
13. La distribución debe incluir:
    a. Plano del plan (figura 14-2).
    b. Plan maestro (figura 14-11).

LA PRESENTACIÓN

La presentación del proyecto ocurre en una junta con la dirección en la que el ingeniero (o los ingenieros) de proyecto presenta(n) el plan. La presentación debe ser visual. De otro modo, los directores leerían el informe y no habría necesidad de una reunión. Los dos productos más propios para ser ilustrados visualmente son el modelo del producto y la distribución.

Con el modelo del producto, el presentador cubrirá lo siguiente:

1. La meta y las submetas.
2. El volumen y la tasa de producción de la planta.
3. El producto.
4. Las decisiones de fabricar o comprar partes.
5. El proceso del diseño.

Con la distribución, el presentador hablará de lo siguiente:

1. El diseño del proceso (descripción adicional acerca del flujo de cada parte).
2. Ensamble y empaque.
3. Gráfica de operaciones o gráfica del proceso de flujo.
4. Relaciones de actividades y diagramas adimensionales de bloque.
5. Servicios auxiliares.

6. Servicios para empleados.
7. La oficina.
8. Diagrama de asignación de áreas.

El plano del plan mostrará el acomodo de la planta en el lote. La presentación debe incluir el presupuesto de los costos; sin embargo, la elaboración de presupuestos y la asignación del costo están más allá del alcance de este libro.

AJUSTES

El planeador de las instalaciones debe presentar la distribución a toda persona que lo escuche. Los amigos criticarán el proyecto para ayudar a impedir errores costosos, los enemigos dirán "excelente trabajo, preséntaselos" (querrán decir que lo lleve a la dirección, lo que lo haría pasar como un tonto). Con cada presentación ajustará la distribución, mejorándola cada vez más.

APROBACIÓN

Una vez terminado el proyecto (es probable que el programa imponga la fecha), se requiere la presentación (o presentaciones) formal. La primera sería ante el jefe inmediato y el director de producción. Su gran experiencia casi siempre hará que afloren los problemas de su plan. En función de la magnitud de éstos, ellos "suscribirían" (aprobarían) el proyecto sujeto a los cambios que hubieran sugerido.

Los cambios importantes tal vez requieran de una segunda presentación. La mayor parte de las compañías necesitará muchos niveles de aprobación en función de la cantidad de dinero que se solicite.

Uno de los autores de este libro presentó una distribución a un gerente general de planta, quien la aprobó. Sin embargo, éste no tenía la autoridad para aprobar los gastos por $75,000. Después de viajar a Los Ángeles y después a Nueva York para presentar la propuesta a la alta dirección, el proyecto finalmente fue aprobado.

El proceso de aprobación es importante, y los altos directivos no llegan a donde están sin tener mucha experiencia. Sus aportaciones son valiosas y servirán para obtener un proyecto mejor. Si el proyecto es un éxito, tendrá el crédito porque logró que ocurriera. Siempre que un alto directivo hace una sugerencia y la incorpora, hace de dicho individuo una parte del proyecto y habrá reclutado a otra persona que se interesa porque el trabajo de usted sea un éxito. Involucre a todos para asegurar su cooperación. Lo que la dirección aprueba es, sobre todo, un presupuesto (límite) de gastos. Los ingenieros y los gerentes del proyecto harán su mejor esfuerzo para no excederlo. Los gerentes de proyecto que quedan por debajo del presupuesto son dignos de un ascenso.

EL RESTO DEL PROYECTO

Aunque este libro llega a su fin, sería un error ignorar algunos temas que aún no se han cubierto.

Aprovisionamiento

El *aprovisionamiento* es el proceso de encontrar proveedores que suministren el equipo, los materiales y el abasto necesarios para el proyecto. Estos proveedores son de mucha ayuda para el ingeniero de proyecto. No sólo dan información precisa acerca de modelos, velocidades, alimentaciones, duraciones y costo, sino también ayudan con los requerimientos y los cálculos de diseños especiales e, incluso, hacen parte del trabajo de la distribución. Es normal que se trabaje con varios proveedores de cada elemento del equipo, pero ellos esperan obtener algo por su trabajo, no todos y no siempre. Si los proveedores sienten que los está usando, no querrán ayudarlo en el futuro. El resultado de la búsqueda para el aprovisionamiento es una lista de los equipos y suministros necesarios para crear la distribución que diseñó, y un proveedor y precio específicos. La cantidad total de dinero es una parte principal del presupuesto de su proyecto. El día que éste se aprueba usted podría gastar 70 u 80 por ciento de los fondos porque habrá elegido al proveedor y tendrá una orden de compra en espera de ser aprobada.

El departamento de compras, por lo general, realiza todas las compras de la compañía, pero a veces (en especial cuando se construye una planta nueva) la función de compras se delega en algún gerente de proyecto. Éste es responsable por completo de hacer que el trabajo se realice y que esté dentro del presupuesto. De cualquier forma, debe involucrarse al departamento de compras debido a sus habilidades y conocimientos especiales. Si el gerente de proyecto es el encargado de las adquisiciones, la persona que haga las compras querrá saber los deseos y las necesidades de usted, y apreciará la ayuda.

Instalación

Una vez que la planta nueva se construye o la existente se reacondiciona, el equipo comienza a llegar. Éste debe colocarse y conectarse a la energía, el agua o el aire. El tiempo de entrega varía de una compra a otra, y algunas piezas especiales pueden tardar meses en llegar. Una vez que el equipo ingresa a la planta, su *instalación* también podría durar meses. Una máquina para recubrir con cromo o un sistema pulverizador de pintura son buenos ejemplos de ello. La instalación cuesta dinero, por lo que debe ser parte del presupuesto. La instalación toma tiempo y debe ser parte de la programación. La instalación termina cuando el ingeniero de proyecto (o un ingeniero del proveedor) prueba la máquina.

Ingeniería piloto

La *ingeniería piloto* es la prueba de todas las herramientas, equipos y materias primas, para ver si la planta es capaz de elaborar el producto. Al menos una de cada tipo de estación de manufactura debe estar disponible. Debe contarse con la primera orden pequeña de partes o materiales, y pedirse a unas cuantas personas de producción que ejecuten cada operación. Siempre hay problemas cuando se arranca cualquier cosa nueva, y la ingeniería piloto los detecta en las máquinas, las herramientas y los materiales a fin de que se corrijan. Los resultados de la ingeniería piloto son algunos productos nuevos, pero, sobre todo, es una lista de problemas que deben resolverse antes de que comience la producción.

Todos quieren ser parte de la ingeniería piloto: los ingenieros de producto (diseñadores de las partes), la dirección de compras (proveedores de materias primas y partes terminadas), los ingenieros de control de calidad (para que anticipen los problemas con ésta), los ingenieros de herramientas (diseñadores de las mismas), ingenieros industriales

(diseñadores de estaciones y estándares de trabajo), y el gerente del proyecto de diseño de las instalaciones (el jefe). Después de la prueba piloto se realiza una junta para revisar, analizar y asignar todos los problemas. Para esto es necesario conformar un grupo de personas unido muy estrechamente.

Inicio de la producción

Entre dos semanas y un mes después de efectuar la prueba piloto, se iniciará la *producción*. Éste es el día más emocionante y desafiante en la vida del planeador de instalaciones. Todo ha sido divertido hasta hoy. Ver como se concreta el plan es algo grandioso, pero cuando la gente de producción llega en masa con deseos de trabajar, usted, el supervisor y el líder, debe capacitar a cada uno. Se supone que todo trabaja como se planeó, pero nunca ocurre así, por lo que necesita dirigir el trabajo de mantenimiento, hacer que se repitan las partes de modo que se ajusten a los requerimientos, ajustar las máquinas, volver a capacitar al personal y, lo más importante, hacer una lista de lo que necesita repararse antes de la mañana siguiente. Cuando las personas vayan a su casa al finalizar su turno, el día de usted apenas irá a la mitad. Debe hacer que todo se corrija para mañana. Éste es un momento agitado y la mayor parte de los ingenieros de proyecto sienten que son más productivos durante el arranque de la producción.

La eficiencia de la producción para el segundo año de un producto en promedio es del 85 por ciento en una planta con un sistema de control del rendimiento. Durante el primer año, los productos promedian el 70 por ciento para el año completo, lo que significa que al comenzar la producción de ese año el rendimiento pudo haber sido tan bajo como 50 por ciento o menos. Esta baja eficiencia es normal y debe preverse con el fin de cumplir el programa de entregas. También incrementa los costos y debe ser parte del presupuesto de arranque. Para calcular el valor R (tasa de producción de la planta) use una eficiencia de 70 por ciento para el primer año.

Depuración y seguimiento

Es común que el término *depuración* se use para describir el proceso de hacer que el plan funcione: corregir los defectos de cada operación para que se ejecute en forma apropiada. En función de la complejidad del producto y los procesos, la depuración dura de dos meses a un año. Después del periodo de depuración viene el periodo de *seguimiento*. La línea divisoria entre la depuración y el seguimiento es invisible, y no existe un final para éste. Una vez que concluye el seguimiento las mejoras se detienen y la productividad y calidad comenzarán a declinar.

CONCLUSIÓN

El procedimiento para hacer distribuciones de planta que se describió en la primera sección de este capítulo es un buen bosquejo para la mayoría de proyectos al respecto. No todos los pasos se siguen en todos los proyectos, pero saltarse alguno debe hacerse después de una consideración cuidadosa. La planta de cajas de herramientas no necesitó una gráfica origen-destino porque todas las partes fluían a través de la misma secuencia de máquinas. Los resultados eran obvios al 100 por ciento, entonces, ¿para qué hacerlo? Éste es un ejemplo de consideración cuidadosa para eliminar un paso.

La mayoría de proyectos de distribución de planta son divertidos. La mayor influencia que usted recibirá para la efectividad y la eficiencia de una planta (hacer las cosas bien) es hacer la distribución de una planta nueva. Una redistribución es lo segundo. Los directores de industrias no encargan nuevos proyectos grandes a los ingenieros a menos que éstos hayan demostrado su capacidad. Los ingenieros de proyecto deben probarse a sí mismos en proyectos pequeños antes de que ganen el derecho de trabajar en los grandes. Acepte con entusiasmo cada proyecto que le ofrezcan y haga el mejor trabajo posible. Más pronto de lo que se imagina ganará los trabajos mayores.

Respuestas

Capítulo 1

1. La distribución de planta es la organización de las instalaciones físicas de la compañía para alentar la utilización eficiente del equipo, el material, el personal y la energía.
2. El diseño de instalaciones incluye la ubicación y la distribución de la planta, el diseño del inmueble y el manejo del material.
3. El manejo del material se define sencillamente como el movimiento de éste.
4. La fórmula de reducción del costo, en realidad, es una palabra, no una fórmula matemática. Consiste en seis preguntas acerca de todo lo que puede pasar a una parte que se mueve a través de las instalaciones. Las preguntas son: por qué, quién, dónde, qué, cuándo y cómo. El propósito es determinar si es posible eliminar cualquier etapa dada, combinarla con otra operación, moverla a un punto diferente en la secuencia de operaciones, o simplificarla. Este procedimiento requiere que se estudie el producto con el fin de identificar cada etapa del proceso y que se pueda justificar la necesidad de cada una de ellas.
5. a. 50%
   b. 40-80%
6. a. Minimizar el costo unitario.
   b. Optimizar la calidad.
   c. Alentar la utilización eficiente de:
      - personal
      - equipo
      - espacio
      - energía

   d. Brindar a los empleados
      - conveniencia.
      - seguridad.
      - comodidad.

   e. Controlar los costos del proyecto
   f. Cumplir con la fecha de arranque de la producción.
7. Un enunciado de la misión sólo es la definición de cantidad, calidad del producto y metas de costo que se usa para mantener los pensamientos orientados.
8. Los conceptos 10 y 11 (producto 1670).
9. Este enfoque es sistemático (parece magia) y resulta en una distribución excelente de la planta.
10. Las 24 etapas (páginas 11 a 13).
11. Planta nueva, producto nuevo, cambio en el diseño, reducción de costo y retroajuste.
12. Es mejor tratar en forma similar tanto al retroajuste como el diseño de instalaciones nuevas, hasta la distribución final, y hacer, en la medida de lo posible, los menores compromisos.
13. Vea las páginas 4 y 18.
14. Vea las páginas 4, 17 y 18.
15. La simulación es la técnica por medio de la cual una situación de la vida real puede *imitarse*. En el área de la planeación de instalaciones, se usa para ensayar varios escenarios del tipo qué pasaría si.... Por ejemplo, cómo afectaría al resultado total de la línea o instalación que se agregara o eliminara un elemento de maquinaria o personal.
16. Uno de los aspectos principales de la norma ISO 9000 es completar la documentación y la obtención de datos. Existen varias herramientas de la planeación de instalaciones que satisfarán este requerimiento.
17. Los procesos aleatorios son aquellos sucesos que tienen lugar sin ninguna advertencia o planeación previa, como la falla de una máquina. La simulación se usa tanto para entender como para prepararse mejor para dichos eventos.
18. Los dispositivos más comunes son los lectores y escáneres usados para contar los artículos en los supermercados. En la planta se incorporan a actividades diversas, como el manejo de materiales para controlar los inventarios, los trabajos en proceso, el estado del equipo, etcétera.
19. Tales cambios son necesarios debido a los cambios en el producto; aumento o disminución del volumen de la producción, y agregar, cambiar o

eliminar diversas operaciones y procesos de las actividades en los talleres.

Capítulo 2

2. Precio de venta, volumen de ventas, estacionalidad, partes de repuesto.

3. La tasa de producción de la planta en minutos decimales (qué tan rápido deben producir cada parte los trabajadores).

4. Minutos de trabajo, historial de la eficiencia, tiempos muertos y número de unidades por producir.

5. Determina la velocidad de la planta completa.

6. Planes, lista de las partes o la cuenta de los materiales, muestras de modelos.

7. Política de inversión, política de inventarios, programa de arranque, decisión de fabricar o comprar, organigrama, estudios de factibilidad.

8. La figura 2-6 muestra una lista de partes que la compañía fabricará y otra de las que comprará.

9. Compras, porque ellos comprarán la parte si es más barata en el exterior.

10. En la página 39 se enlistan las seis causas.

11. La lista estructurada del material muestra varios niveles de ensamble y subensambles y las partes que se requieren para formar los diversos componentes. Vea también la página 30.

12. Además de los datos que proporciona una lista plana del material, la estructurada muestra la jerarquía de las partes y los componentes.

13. Se usa para elaborar la gráfica de ensamble y ayuda a visualizar la relación conjunta entre las partes y los ensambles.

14. Trata con la planeación concurrente de todos los aspectos del desarrollo, el diseño y la manufactura del producto. El concepto se usa en la planeación de las instalaciones para desarrollar la relación apropiada entre departamentos distintos.

Capítulo 3

1. Determinar el número de máquinas y operadores, costo de la mano de obra directa, balanceo de la línea de ensamble, y programación; evaluar el desempeño individual y el monto de los incentivos, y desarrollar el presupuesto de recursos humanos. También vea las páginas 52 y 53.

2. El tiempo que requiere un operador calificado y bien capacitado, que trabaja a su ritmo normal, para realizar una tarea específica.

3. Los tiempos estándar se comunican en minutos decimales, piezas por hora y horas por pieza.

4. La productividad se define como la división de la salida entre la entrada. Productividad de la mano de obra = horas pagadas entre horas reales.

5. Los sistemas de tiempos estándar predeterminados, método del cronómetro, muestreo del trabajo, datos estándar, opinión de los expertos o datos históricos.

6. Sistema de tiempos estándar predeterminados.

7. Cronómetro o estudio de tiempos.

8. Muestreo del trabajo u opinión de los expertos.

9. Datos estándar.

10. Sistema de tiempos estándar predeterminados.

11. 60%, 85%, 120%.

12. El tiempo del proceso es la cantidad de tiempo disponible para producir una unidad con el fin de cumplir con la programación del producto.

13. a. Tiempo del proceso, o valor R = 480 minutos por turno – 48 minutos de tiempo muerto = 432 minutos.

432 @ 75% = 324 minutos divididos entre 3,000 unidades = .108 minutos por unidad

Tiempo estándar = .284 minutos por unidad divididos entre .108 minutos por unidad = 2.63 o 3 máquinas.

b. Tiempo estándar de .284 dividido entre 60 minutos por hora = .00473 horas por unidad, dividido entre 75% = .00631 horas por unidad, por $15.00 por hora = $.095 por unidad.

c. 480 minutos por turno divididos entre .108, por 75% = 3.495 partes.

14. 200, .005; 30; .033; 133.33, .0075; 1,200, .00083.

15. El tiempo medido observado es resultado del estudio de tiempos, la cantidad de tiempo que tomó a un operador en particular realizar una tarea. El tiempo normal es el tiempo observado ajustado por la tasa de ritmo o calificación del operador. El tiempo estándar es el tiempo normal una vez que se agregan las tolerancias.

16. Las tolerancias se dan por factores no productivos tales como la fatiga, necesidades personales del operador, y demoras evitables para hacer que los tiempo estándar sean prácticos.

17. Tiempo estándar = tiempo normal + tolerancias.

Mejora de la línea de balanceo

Núm. de operación	*Tiempo estándar*	*Núm. de estaciones*	*Tiempo promedio*	*% de carga*	*Horas por unidad*	*Unidades por hora*
SSSA1	.306	2.00	.153	99	.00517	194
SSA1	.291	2.00	.146	94	.00517	194
SSA2	.260	2.00	.130	84	.00517	194
SA1	.356	3.00	.119	77	.00775	129
A1	.310	2.00	.155	100	.00517	194
A2	.555	4.00	.139	90	.01033	97
A3	.250	2.00	.125	81	.00517	194
SA2	.415	3.00	.138	89	.00775	129
SA3	.250	1.61	.250	Sub	.00417	240
Empaque	.501	4.00	.125	81	.01033	97
		25.61			.06618	

18. 10 horas = 600 minutos, –30 minutos de tiempo muerto = 570 minutos. Al 85% se obtienen sólo 484.5 minutos de una persona promedio, divididos entre 2,500 unidades = .194 minutos por unidad.

19. a. .542
b. .637
c. 94
d. 10.63
e. $.127
f. $.134

20. 5,260

Capítulo 4

1. Determinar cómo se va a hacer cada parte, con qué equipo, qué tiempo estándar, herramientas, secuencia de ensamblado, etcétera.

2. Fabricación y ensamble/empaque.

3. Secuencia de operaciones para hacer una parte.

4. Número de parte, nombre de parte, cantidad por producir, números de operación, descripción de la operación, números de máquina, juegos de máquina, herramientas necesarias y tiempo estándar.

5. Cuántas unidades por día se necesitan, qué máquina atiende qué partes, y cuál es el tiempo estándar para cada operación.

6. Minuto decimal.

7. La gráfica de ensamble muestra la secuencia de operaciones para unir el producto.

8. Número de unidades necesarias por minuto multiplicado por la distancia entre el límite delantero de una unidad y la siguiente.

9. Espaciamiento de ganchos y partes por gancho.

10. Igualar el trabajo, identificar cuellos de botella, establecer la velocidad de la línea, determinar el número de estaciones de manufactura, determinar el costo del producto, establecer carga porcentual de cada persona, auxiliar en la distribución y reducir los costos de producción.

11. Vea la tabla que se presenta a continuación.
a. .06618
b. 3,104

Núm. de estaciones	*Tiempo estándar*	*Núm. real de estaciones*	*Estaciones promedio por ciclo*	*Porcentaje de carga*	*Horas por unidad*	*Piezas por hora*
1	.390	2	.195	78	.00834	120
2	.235	1	.235	94	.00417	240
3	.700	3	.233	93	.01251	80
4	1.000	4	.250	100	.01668	60
5	.240	1	.240	96	.00417	240
6	.490	2	.245	98	.00834	120

c. 25.44
d. A1
e. Sí, porque las horas totales por unidad son menos.
f. $23,030 por año.

12. Producción en masa y trabajo en el taller.

13. Vea la tabla inferior de la página anterior.

14. 94% (si se supone 2, 1, 3, 4, 1 y 2 estaciones para las operaciones 1 a 6, respectivamente). Tiempo estándar = 3.055 minutos. 13 operadores por .25 = (el 100% de la estación) = 3.25 minutos. 3.055 dividido entre 3.25 minutos = .92 por 100 = 94%. La ineficiencia de 6% es ocasionada por hacer que estas 13 personas trabajen juntas en una línea, en lugar de dejar que cada quien trabaje a su propio ritmo (tiempo estándar). Éste es el costo del balanceo de la línea, que debe compensarse con los ahorros en el manejo de materiales, menor inventario de trabajos en proceso, y reducción de los daños al producto que resultan del manejo y el almacenamiento excesivos.

15. Es frecuente que agregar estaciones al cuello de botella dé como resultado una reducción del tiempo ocioso y, por tanto, la disminución del costo por unidad.

Si la estación del 100% (cuello de botella) tiene considerablemente más trabajo que la que tiene la carga cercana siguiente, agregar aquí otra persona reduciría el tiempo promedio de la estación. Con 10 personas en la línea, esto requeriría una diferencia de 10%. Con 100 personas, sólo es necesaria una diferencia de 1% entre la estación con el tiempo promedio más alto y la segunda con el tiempo promedio más alto, para pagar una persona adicional.

16. En la distribución orientada al proceso, el equipo similar se agrupa junto (taller de trabajo); en la distribución orientada al producto, las máquinas se acomodan para dar acomodo a la secuencia específica de operaciones según las hojas de ruta. Vea también la página 124.

17. La tecnología de grupo saca ventaja de la similitud entre la geometría de las partes y los procesos, sin tomar en cuenta el destino final de aquéllas. También vea la página 124.

18. Un grupo de máquinas forma una "celda" para realizar una serie de operaciones con más eficiencia. Esto funciona mejor con el concepto de tecnología de grupo. Consulte también la página 124.

19. Una posible solución es la siguiente:

1	.455	2	.228	56	.01357	74
2	.813	2	.407	100	.01357	74
3	.233	1	.233	57	.00678	147
4	.081	1	.081	20	.00678	147
5	.945	3	.315	77	.02035	49
Totales	2.527	9			.06100	

Total de minutos estándar = 2.527. 9 por el 100% del tiempo promedio de la estación = 3.663. Eficiencia = 2.527 dividido entre 3.663 = 69%. Esto se considera un balanceo muy deficiente de la línea. ¿Cómo mejorarlo? ¿Qué pasa si se combinan las estaciones 3 y 4? ¿Qué si se agrega una persona a la estación 2, la del cuello de botella?

1	.455	2	.228	72	.01015	95
2	.813	3	.271	86	.01575	63
3 y 4	.314	1	.314	100	.00508	190
5	.945	3	.315	100	.01575	63
Totales	2.527	9			.04723	

Eficiencia = 2.527 dividido entre 9 por .315 (el tiempo de la estación del 100%) = 89%. El balanceo inicial empleó un total de .061 horas por unidad. Esta línea requiere sólo .04723 horas por unidad, lo que representa un ahorro de .01377 horas por unidad. A $15.00 por hora, se ahorra aproximadamente .21% por unidad, o a la tasa de 190 unidades por hora, $314 por turno de 8 horas.

Otra alternativa ocasionaría el 76.5% de eficiencia (si se suponen 1, 2, 1, 1, y 2 estaciones para las operaciones 1 a 5, respectivamente).

Capítulo 5

1. La ruta que sigue una parte a través de la planta.

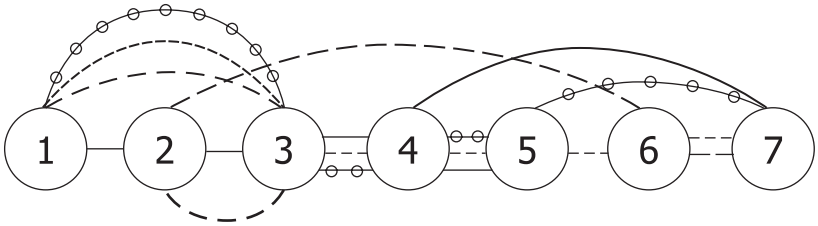
2. Minimizar la distancia recorrida, retrocesos, tráfico cruzado y costo.

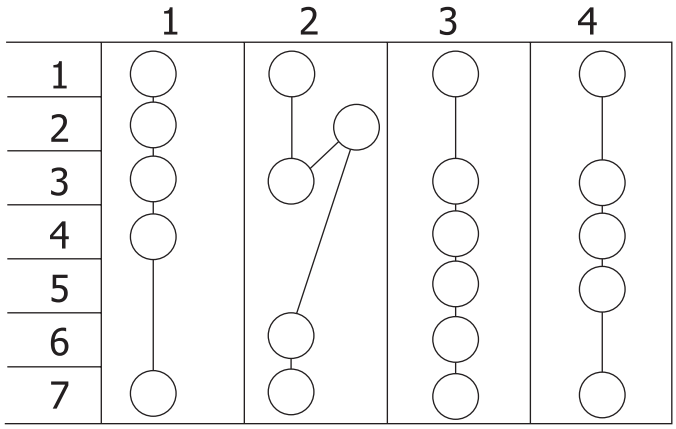
3. Fabricación y planta total.

4. Diagrama de cuerdas, gráfica de proceso de columnas múltiples, gráfica origen-destino y gráfica del proceso.

5. 65%. Vea la figura A-1.

6. Con el uso de la forma estándar, mostrar todas las operaciones a partir de la hoja de ruta (vea la figura 4-1), y agregar el transporte. Tomar las distancias del diagrama de flujo de la figura 5-13,





	1	2	3	4	5	6	7	N.P.	P.P.
1		(1) 1	(18) 2+3+4					10	19
2			(1) 1			(8) 2		3	9
3		(4) 2		(8) 1+3+4				10	12
4					(7) 3+4		(3) 1	6	10
5						(3) 3	(8) 4	7	11
6							(5) 2+3	5	5
7								43	66

Figura A-1

si $1' = 40'$, colocar la inspección, las demoras y el almacenamiento en el sitio que corresponde.

7. Diagrama de flujo, gráfica de operaciones y gráfica de flujo del proceso.

8. Vea la figura A-2.

9. Gráfica de las operaciones y gráfica del proceso.

10. Hay argumentos para la eficiencia del trabajador, reducir las distancias de caminata (con las distracciones que conllevan), seguridad, etcétera.

11. FactoryFLOW es un programa de computadora que auxilia por medio del análisis de aspectos diversos del flujo.

12. Más rápido y más eficiente. El análisis se lleva a cabo en tiempo real sin tener que reacomodar las instalaciones en la realidad. Es posible que surjan problemas grandes por la introducción al sistema de datos inexactos o incompletos.

Capítulo 6

1. A = Absolutamente necesario que estos dos departamentos estén uno junto al otro.
E = Importancia especial.
I = Importante.
O = Importancia ordinaria.
N = No importa.
X = Cercanía no deseable.

2. Estos códigos se asignan como resultado de pláticas con los gerentes y otra clase de personal.

3. a. Recordatorio de por qué se asignó un código de relación en particular.
b., c. Vea la parte superior de la página 183.

4. Una hoja de trabajo ayuda a transferir información del diagrama de relación de actividades al diagrama adimensional de bloques, sin cometer errores.

5. En este caso, las plantillas ayudan a construir el diagrama adimensional de bloques. Son cuadrados de 2 × 2 pulgadas, con códigos de cercanía ubicados en el sitio apropiado.

6. Compare la solución que obtuvo con las que obtuvo el resto del grupo. Identifiquen la respuesta mejor: aquélla con el número menor de marcas de verificación.

7. 105.

8. 5, 10, 16.

9. La figura 6-7 muestra los patrones de tráfico con la intensidad y distancias asociadas. En la figura 6-4 aparecen las relaciones entre los departamentos.

Capítulo 7

1. En cualquier lugar, porque siempre habrá mejoras que harán que el primer esquema resulte equivocado.

2. La forma más barata de lograr la producción, porque cualquier gasto adicional debe justificar su costo.

3. Vea el capítulo 7, página 205.

4. Lineamientos para diseños eficientes y eficaces de las estaciones de manufactura.

5. Hacer lo correcto.

6. Hacer lo correcto.

7. Pasillos, trabajos en proceso y poco lugar adicional para varias cosas.

8. Los estudiantes dibujan estaciones de trabajo y el profesor las revisará.

9. En un trabajo bien diseñado se pone atención a la economía de movimientos, la eficiencia del trabajador y el equipo, y a consideraciones de factor humano.

10. Las consideraciones ergonómicas dan como resultado el diseño de estaciones de manufactura que se "ajustan" al cuerpo humano, en lugar de intentar que éste se ajuste a ellas.

11. Las dimensiones y mediciones físicas del cuerpo humano. Hay que diseñar el trabajo y las estaciones con dichos atributos físicos en mente.

Capítulo 8

1. Recepción, almacenes, bodega, envíos, mantenimiento, cuarto de herramientas y utilerías.

2. Requerimientos similares de personas, equipo y espacio.

3. Equipos comunes de personas, se usan espacios y reducen los costos de las instalaciones.

4. Congestión del espacio y el flujo de material.

5. ¡No! Lo que sea más eficiente.

6. La distribución matutina y la recolección vespertina son el estándar.

7. Cantidad menor que la carga de un camión (negocio común del transporte) usa estaciones de trasbordo a granel.

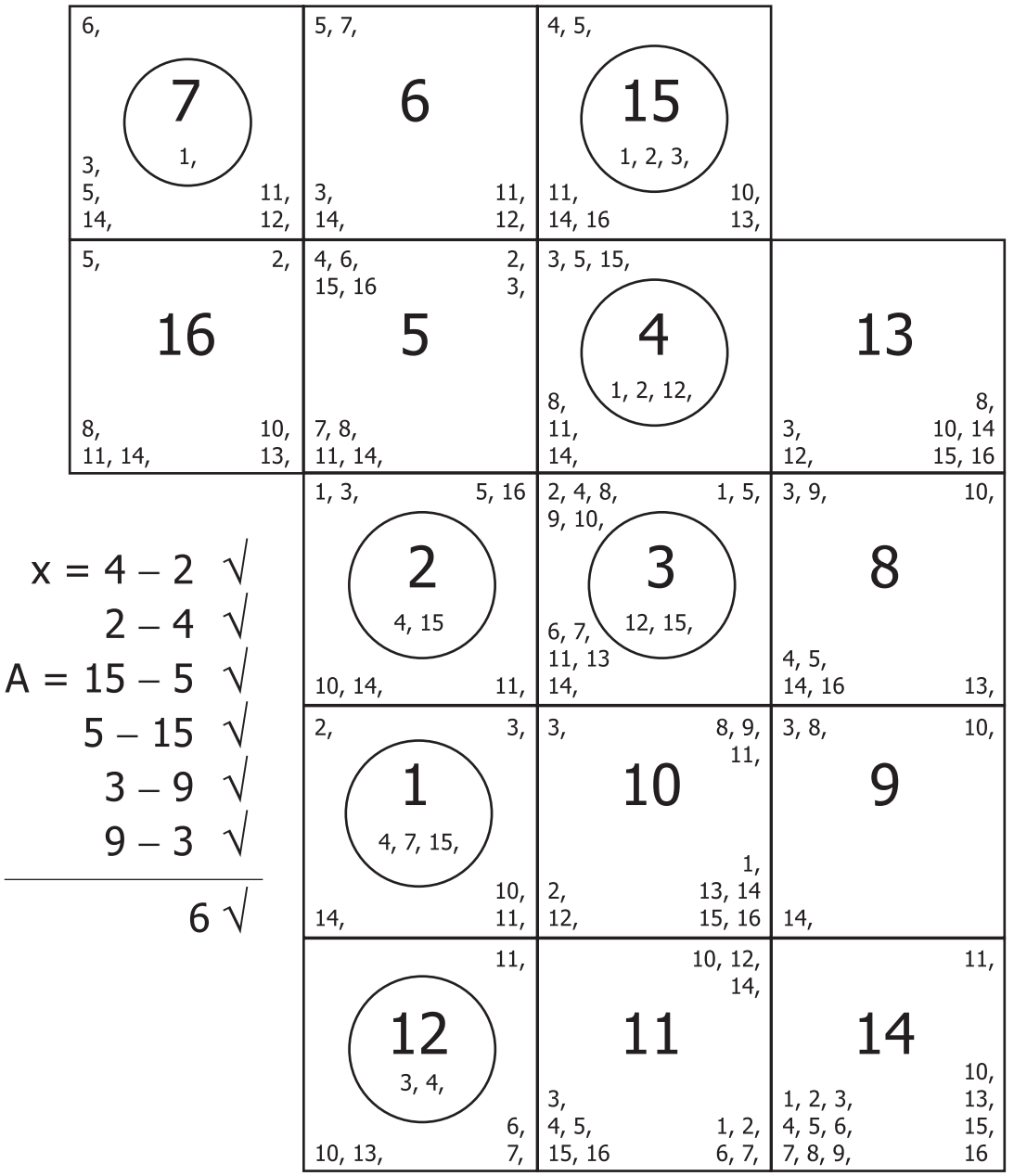
8. Se usaría sólo un camión (o unos cuantos) en la mañana, en lugar de muchos a toda hora.

9. Vea el capítulo 8, página 225.

10. La colocación de un número secuencial y un sistema para registrar la orden de recepción.

11. El número real del día del año, el 1 de enero sería el número 1 y el 1 de julio, el 183.

12. Un reporte por exceso, déficit o daño que elaborará el encargado de recepción y que será envia-



x = 4 – 2 √
2 – 4 √
A = 15 – 5 √
5 – 15 √
3 – 9 √
9 – 3 √

6 √

Figura A-2

do al departamento de compras para que lo resuelva.

13. Avisar al resto de la compañía de que se recibió un producto.

14. Depende de la tasa de arribos (camiones por hora) en la tasa pico y de servicio (tiempo de descarga).

15. Cuántos camiones deben ser atendidos por hora.

16. Espacio de estacionamiento, espacio de maniobras y circulaciones.

17. Comparación de las libras de producto terminado que se producen en un día con el tamaño de un camión medio con capacidad para 40,000 libras. Si se produjeran 100,000 libras del producto por día, $2\frac{1}{2}$ camiones podrían llevar la materia prima a la planta.

18. Vea el capítulo 8, página 229.

19. Las compañías transportistas cobran por libra. También ayuda la razón de peso inútil al peso de los bienes enviados.

20. La autorización para que un conductor retire el producto de la planta y parte del proceso de facturación de la compañía transportista.

21. Lugar para guardar la materia prima y los suministros.

22. Materia prima, partes terminadas, suministros de oficinas, de mantenimiento, de limpieza, etcétera.

23. Tamaño de las partes, número por almacenar.

24. Los artículos tipo A de un inventario constituyen el 20% del total y corresponden al 80% del valor del material. Los de tipo B son el 40% de las partes y tienen el 15% del valor, y los de tipo C forman el 40% de elementos con el 5% del valor. Si se reduce el nivel de inventario de los artículos tipo A, se reducen los requerimientos de espacio y los costos de llevar inventario.

25. Cerca de 25% del valor anual del inventario de cada año, e incluye tasas de interés, impuestos, seguros, espacio, utilerías, daños y obsolescencia.

26. El justo a tiempo es una política de inventario que pone énfasis en tener sólo el inventario suficiente para operar unas cuantas horas.

27. Maximizar la utilización del espacio cúbico, proporcionar acceso inmediato a todo, y velar por la seguridad del inventario.

28. Consulte la figura 8-8.

29. La curva de inventario (vea la figura 8-8) muestra que, en promedio, sólo la mitad del inventario está a la mano (está lleno el primer día de recepción y vacío el último), por lo que cuando llega material se coloca en cualquier parte y existe lugar vacío.

30. Se identifica cada ubicación del almacén por medio de un número de localización. Cuando algo se coloca en ésta, se registra su número en el sistema de localización.

31. Un pie de acceso en el pasillo, en ambos lados del pasillo. Se tienen dos pies de acceso en el pasillo por cada pie de longitud de éste.

32. Vea la distribución que aparece en la figura A-3.

33. La localización para almacenar un producto terminado.

34. Localizaciones fijas y una cantidad pequeña de todo.

35. Salvaguardar los bienes terminados y mantener un poco de inventario de cada producto que vende la compañía.

36. La función de la bodega que consiste en recabar los bienes ordenados por un cliente.

37. Con la identificación de los artículos más populares que vende la empresa y la localización más conveniente para ellos.

38. La distribución de las cajas sobre una plataforma con el fin de garantizar la seguridad de la carga y la utilización máxima del cubo.

39. Forma de balcón que se construye sobre una superficie con el fin de usar el espacio elevado.

40. De 2 a 4% del personal de la planta.

41. Seguimiento de los artículos y administración y control del inventario.

42. Ayuda con la clasificación de los artículos en inventario, de los que se usan con más frecuencia a los que se necesitan menos.

43. Los artículos no se asignan a una ubicación específica sino que se colocan donde hay lugar disponible. Esto reduce el desperdicio y el espacio ocioso.

44. En un almacén de colocación aleatoria, un archivo de localización da seguimiento a la cantidad y ubicación de los distintos artículos del inventario.

45. La fluctuación en el tiempo de la orden y la tasa de uso.

46. a. Para un nivel de inventario, 55, 12, 141, y 56 plataformas.

b. 22 armazones, 308 pies de pasillo.

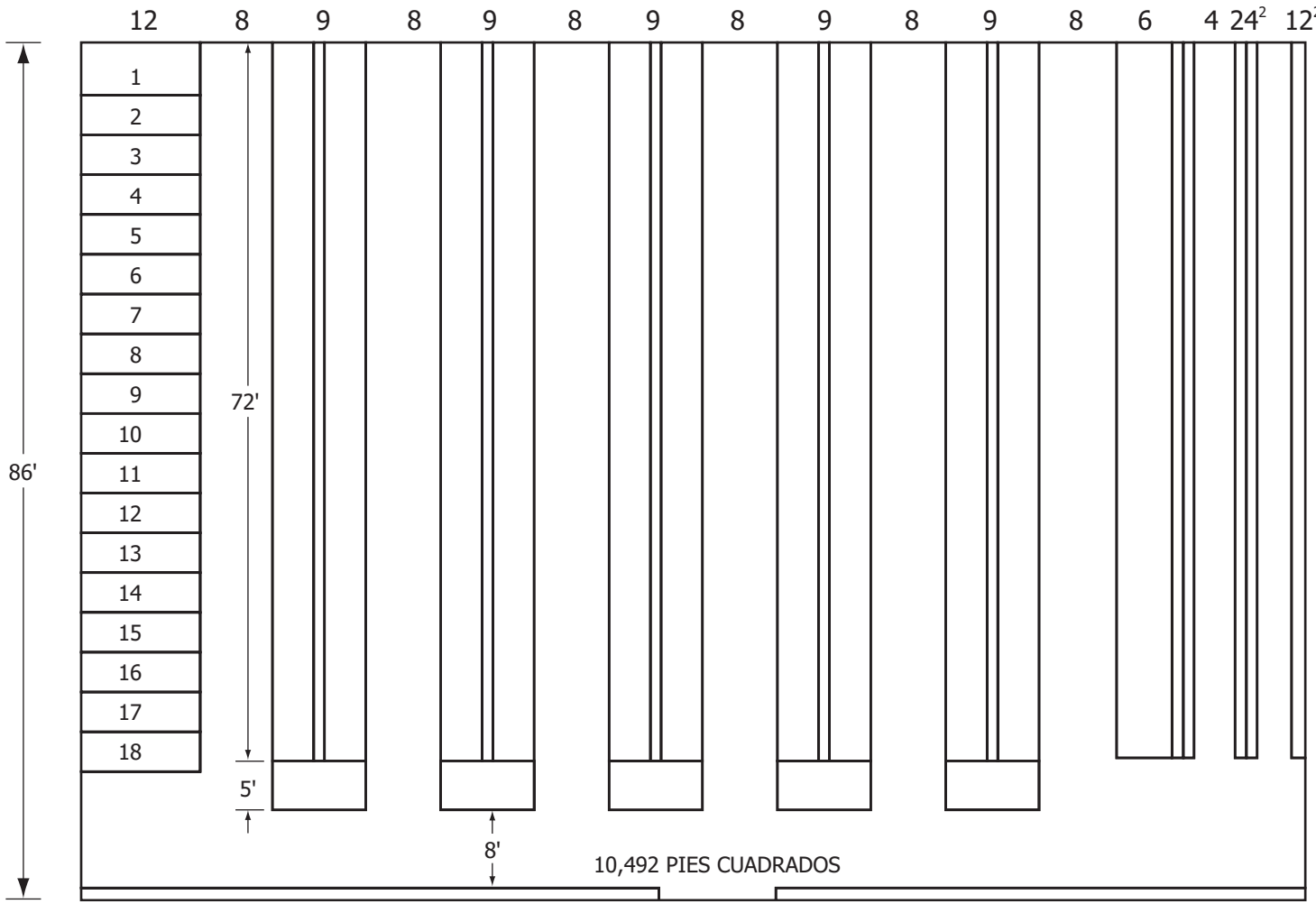

12
8
9
8
9
8
9
8
9
8
9
8
6
4
24^2
12^2
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
86'
72'
5'
8'
10,492 PIES CUADRADOS

Figura A-3

Capítulo 9

1. Vea el capítulo 9, página 264.
2. Depende del número de empleados y la razón de empleados por espacio de estacionamiento.
3. 250 pies cuadrados.
4. Seguridad, tarjetas de tiempo, tableros de avisos.
5. Estacionamiento, cuarto para casilleros, sanitarios y cafetería.
6. Da a los empleados lugar para que guarden sus ropas de calle, ropas de trabajo, objetos personales, como el almuerzo, abrigos, etcétera.
7. Cuatro pies cuadrados por empleado.
8. No más lejos de 500 pies desde cualquier trabajador. No menos de dos (uno para hombres, uno para mujeres).
9. Lo dirá el código del inmueble.
10. Normalmente se requieren 15 pies cuadrados por sanitario, lavabos y vestíbulos, y 50% adicional para el pasillo. Una buena regla práctica es asignar 60 pies cuadrados por sanitario, en los que se incluye todo.
11. Cafetería, máquina expendedora, vendedores ambulantes, comedores, en el exterior.
12. Diagrama de relación de actividades más una pared exterior cerca de los sanitarios y el cuarto de casilleros.
13. 10 pies cuadrados por empleado.
14. Localizado a un radio de 200 pies de cada persona.
15. 15 pies cuadrados cada uno, inclusive espacio para beber.
16. Tan poco como sea posible, pero el 25% sería excelente.
17. Una enfermera por cada 500 empleados.
18. De 36 pies cuadrados a 300 por enfermera por turno. Tres enfermeras ocuparían un área de 300 pies cuadrados, si se asignara una a cada turno.
19. El Acta para los Americanos con Discapacidades (ADA, por sus siglas en inglés) de 1989 exige que los patrones proporcionen espacios especiales y bien diseñados en el estacionamiento, y que generen un ambiente libre de obstáculos en todos los aspectos de la instalación. Los requerimientos de la ADA son obligatorios por ley.
20. Guardería, tienda, gimnasio, etcétera.

Capítulo 10

1. Manejo de materiales es la función que consiste en llevar el material correcto al lugar apropiado en el momento oportuno en la cantidad, la secuencia y la posición que deben ser, con el fin de minimizar los costos.
2. Técnicas y numeración de partes, localización, control de inventarios, estandarización del tamaño del lote, cantidad por ordenar, inventario de seguridad e identificación automática.
3. Aquel que produce el costo unitario más bajo.
4. Vea en la página 290, “Objetivos del manejo de materiales”.
5. El College Industrial Committee on Material Handling Education, patrocinado por el Material Handling Institute, Inc.
6. En resumen, en varias generaciones con experiencia en ingeniería en manejo de materiales. Un lineamiento para la aplicación del criterio apropiado.
7. Vea la figura 10-3.
8. Consulte en la página 301, el “Procedimiento para resolver problemas”.
9. Algunas de las actividades que es posible incorporar con el manejo de materiales son ordenamiento, conteo, inspección y administración del inventario, por mencionar unas cuantas.
10. Por medio de dispositivos automáticos de recolección de datos, tales como escáneres automáticos e incorporados.
11. Rutas automáticas de las partes y administración del inventario. ¿Usted es capaz de analizar otras?
12. Consideraciones de seguridad, ergonómicas y factor humano.
13. El costo de la propiedad (compras, mantenimiento, etc.) y el costo de operación (capacitación, uso de la energía, etc.).
14. Evitar las lesiones relacionadas con el trabajo y los desórdenes por trauma acumulado (DTA).
15. Por medio de brindar un flujo eficiente y oportuno del material y la eliminación de la necesidad de tener almacenamiento entre las operaciones.
16. Movimiento, cantidad, tiempo, espacio y control.
17. El efecto adverso de largo plazo que una actividad (levantar, flexionar la muñeca, etc.) tiene en el operador, y que se conoce como DTA.
18. Con el diseño apropiado, de modo que se reduzcan las tensiones y los esfuerzos del cuerpo.

Capítulo 11

1. a. Punto a punto o ruta fija.
   b. Área fija, ruta variable.
   c. Área variable, ruta variable.
   d. Equipo auxiliar.
2. Como los recipientes que se utilizan en las ventanillas de bancos a los que se tiene acceso en automóvil. Sólo atiende a la ruta en que se instala.
3. Vea las figuras 11-10 y 11-10b, como posible solución.
4. El fondo es magnético y se usa para manejar materiales ferrosos.
5. Dispositivo para manejar materiales que ayuda a levantar, voltear, rotar y posicionar los artículos.
6. Trata de eliminar las etapas del almacenamiento entre la recepción y el envío de los artículos, mediante el traslado del producto desde la recepción a su destino último, en forma ininterrumpida y a través de las instalaciones.
7. No. La automatización no necesariamente es la solución para todos los problemas del manejo de materiales. ¡El objetivo primario siempre debe ser eliminar el movimiento! Los dispositivos mecánicos sencillos tal vez hagan el mismo truco sin recurrir a la automatización.

Capítulo 12

1. Vea el capítulo 12, páginas 399 y 400.
2. Las del supervisor, espacio abierto, convencionales y modernas.
3. Comunicación fácil, equipos en común, menor necesidad de espacio, fáciles de calentar y enfriar, de supervisar, de cambiar, de limpiar y de mantener; archivos y bibliografía comunes.
4. Falta de privacidad, ruido, estatus y confidencialidad.
5. Privacidad, almacenamiento en el punto de uso, segundo piso, centralizadas o descentralizadas, flexibilidad, sala de juntas, biblioteca, área de recepción, sistema telefónico, copiadora, correo, almacenamiento de archivos, procesamiento de textos, pasillos, computadoras, iluminación, sótanos, expansión.
6. Organigrama, diagrama de procedimientos, diagrama de fuerzas de la comunicación, hoja de trabajo de relación de actividades, diagrama adimensional de bloques, determinación del espacio de oficinas y distribución maestra.
7. Diría el número de personas y el nivel que tienen dentro de la organización.
8. 200 pies cuadrados por empleado.
9. Vea la figura 12-11.
10. Dice quién habla y quién trabaja con quién.
11. Círculos y líneas rectas. 4 líneas = absolutamente necesario que esos dos departamentos (o personas) estén uno junto al otro; 3 líneas = importancia especial; 2 líneas = importante; 1 línea = importancia ordinaria.
12. El diagrama de fuerzas de las comunicaciones.

Capítulo 13

1. Dividir el espacio del inmueble entre los departamentos.
2. Vea la figura 13-1. Conjunto de los requerimientos de espacio para cada departamento y área de servicios para desarrollar las necesidades totales de espacio de la planta.
3. Bajo el piso, sobre el piso, en el piso, en las trabes y en la azotea.
4. Con el uso de la proporción áurea de la arquitectura. Un inmueble es más eficiente si mide lo doble de largo que de ancho. Esto representa una razón de 2:1, $\sqrt{\text{pies cuadrados}/2}$ cuyo resultado se redondea al espacio entre columnas más cercano. Esta dimensión será el ancho, y el largo será del doble.
5. Vea el capítulo 13, páginas 430 a 432.
6. Un diagrama de asignación de áreas, vea la figura 13-3c.
7. *Mezzanines*, armazones, entrepaños, transportadores elevados, etcétera.
8. a. Cuartos para casilleros porque se usan con menos frecuencia.
   b. Contabilidad, porque recibe menos visitantes.
   c. Archivo muerto, ya que se usa con poca frecuencia.
9. Las columnas son postes que sostienen el techo.
10. La distancia entre columnas.
11. a. 650 × 1,300 pies
    b. 350 × 700 pies*
    c. 200 × 400 pies

* Puede tener una bahía más de largo o ancho.

12. El diagrama adimensional de bloques.
13. Las ventajas son que libera espacio de primera que se usaría para la manufactura u otras actividades pesadas; aísla las áreas de oficinas del rui-

do, la suciedad y los riesgos relacionados con la manufactura. Las posibles desventajas son el aumento de dificultad para las comunicaciones y la supervisión.

14. Cimentación y techo.

Capítulo 14

1. Igual que los datos que la respaldan.
2. Plano del plan y plan maestro.
3. El diagrama de flujo se dibuja sobre la distribución de la planta.
4. Muestra cómo se ajustan al terreno el inmueble, los estacionamientos y las circulaciones.
5. Un frente.
6. A la *parte trasera* de la planta y *arriba* de las oficinas.
7. Diez veces el espacio que necesita el inmueble.
8. El producto terminado de un proyecto de distribución de planta. Muestra cómo se localiza cada máquina, estación de manufactura, departamento, escritorio, etcétera.
9. Plano estructural, pantalla y plantilla, tridimensional, y CAD.
10. Arquitectónico, debido al tiempo de repetición del dibujo.
11. 1/4 de pulgada = 1 pie; la segunda es 1/8 de pulgada = 1 pie.
12. Sí, cuando se trata de un proyecto irrepetible.
13. La distancia recorrida, razón de viaje automático, razón de pies recorridos por gravedad, cubo de los almacenamientos y la bodega, razón de espacio de pasillos, razón de espacio de maquinaria, utilización de máquinas, razón de costos de manejo de materiales, tiempo en proceso.
14. a. abajo
    b. arriba
    c. abajo
    d. arriba
    e. arribaw
    f. arriba
    g. arriba
    h. abajo
    i. abajo
    j. abajo
15. Las ventajas son velocidad, exactitud y eficiencia. Los datos se introducen una vez y se comparten con personas diferentes para propósitos distintos. Las desventajas incluyen una entrada inexacta y la simplificación excesiva de las variables de entrada.
16. La estandarización permitiría compartir archivos electrónicos diversos, planos, etcétera.
17. Permite que la persona que realiza la planeación y los usuarios de la fábrica "caminen a través" de la planta y evalúen su distribución durante las etapas de planeación y diseño.

Capítulo 15

1. La simulación es una técnica experimental que trata de reproducir una situación de la vida real a fin de evaluar escenarios diferentes y responder a preguntas del tipo qué pasaría si...
2. Los modelos matemáticos son más precisos y están definidos y formulados con más claridad. Cuando no es posible o factible hacer definiciones tan exactas, la modelación en computadora es más útil.
3. Los eventos estocásticos son de naturaleza aleatoria, mientras que el resultado de un modelo determinista no ocurre al azar.
4. A los modelos dinámicos se les da seguimiento durante un periodo de tiempo, y su comportamiento está influido por el paso del tiempo. A los modelos estáticos no les afecta el tiempo.
5. La velocidad y la eficiencia, y permite el estudio de escenarios diferentes. Los modelos complejos no se adecuan con facilidad a la simulación y pueden dar origen a soluciones simplistas.
6. Planeación de la capacidad, políticas de inventario, balanceo de la línea, bodegas y logística, distribución de oficinas, etcétera.
7. Estudiar alternativas diferentes, es decir, agregar (o eliminar) estaciones y equipos adicionales, entre otros.
8. a. Ayuda en la planeación y el diseño.
   b. Llevar a cabo simulación y análisis.
9. La definición del problema establece los *objetivos y propósito*; la definición del sistema determina los *límites y restricciones* de éste.
10. Como dice el antiguo cliché, "¡si entra basura, sale basura!"

Índice

A

Acondicionamiento de aire, 261
Acta de los Estadounidenses con Discapacidad (AAD) de 1989, 265
Administración, 38
Ajustes, 484
Alimentadores vibratorios, 343, 359
Almacenamiento, 235-248
  en el punto de uso, 407-408
Almacenes, 235, 323-336
  enviar a los, 226-227
Altura correcta del trabajo, 218
Análisis
  de flujo, 124, 136-169, 180, 188
    objetivos del, 146
  de la relación de actividades, 180-194
  de Pareto, 26*n*, 184, 251-252
  de venta con inventario ABC, procedimiento para, 252-253
  del desempeño de la distribución asistida por computadora, 474-477
  del proceso del ensamble y empaque, 106-112
  interpretación, 470
Anaqueles, 323
  rodantes, 325
Andon, 4, 17, 18
Antropometría, 204-205
Apiladores, 368
Aprobación, 484
Aprovisionamiento, 485
Archivo central, 412
Área(s)
  de descanso y espera, 277
  de recepción, 411
  elevadas o de espacio libre, 428
  exteriores, 228
  para guardar archivos, 412
Arena, 471
Armadores de cajas, 367
Armazones, 258, 325
  de doble profundidad para plataformas, 325
  de flujo, 258
Arreglo tipo plataforma, 294
Asignación de áreas, 426-435
  de oficinas, 432-435
  procedimientos de, 430-432
Autocad, 446, 471
Autonomización (*jidoka*), 4, 17
Azotea, 429

B

Bajadas y rampas, 351
Bajo el piso, 428
Balanceo, 138
  costos del, 110
  de la línea de ensamble, 60-61, 106, 109-112
    procedimiento paso a paso para llenar el formato de, 112-119
Bandeo, 372
Barnes, Ralph, 206
Básculas, 322
Bebederos, 275
Bibliotecas, 411
Bienes terminados para enviarlos, empacar los, 229
Bodega(s)
  funciones de una, 251-252
  guardar en, 248-259
  vertical y carros recolectores, 375-376
Bombas y tanques, 380-383

C

Cafeterías o comedores, 270-274
Cajas o los contenedores, escribir las direcciones en las, 229, 231
Cálculo de las tasas de desperdicio y retrabajo, 28-29
Calefacción, 261
Calidad, optimizar la, 6
Calificación
  nivelación y normalización, 79-81
  porcentual, 78
Cambios de distribución, 401
Camiones
  asignación de, 232
  cargar, 232
  recepción de, 225
Cantidad
  de seguridad, 238
  por ordenar, 237
Cantidades inferiores a una carga de camión (ICC), 224

Carga unitaria, 293, 294
Carro(s)
de alcance , 329
de mano, 312
de cuatro ruedas, 312
de dos ruedas, 258, 312
energizados, 356
de mantenimiento, 331
de recolección, 258
de tijera, 329
elevadores de cambio lateral, 331
móvil de servicio, 260
recolectores, 373
tipo tracto-camión, 374
Caterpillar Tractor Company, 310, 363
Causa original, 4, 19
Celda de manufactura, 101-102, 124
desarrollo de, 138
Cestas
de caída por el fondo, 338
o tinas de caída lateral, 338
tinas y, 336
Ciclo del tiempo, 114
Cinco porqués, 3, 17
Código(s)
A, 182
de barras, 232, 299
de cercanía, 181
de relación, determinación del, 183-184
E, 182
I, 182
O, 182
U, 182
X, 182
Comedores
cafeterías o, 270-274
de la localidad, acudir a, 272-273
ejecutivos, 272
Compras externas, 35, 156
Computadoras y la simulación en el diseño de instalaciones de manufactura, 14-15
Cómputo, sistemas avanzados de, 446-450
Concepto
de detención de una línea de producción, 18
libre de barreras, 266
Condiciones de trabajo, 80
Consistencia, 80
Construcción de una nueva planta de manufactura, 2
Contenedor(es), 308
de carga, 376
de envíos, 376
de flujo por gravedad, 373
de piezas, 336
escribir las direcciones en las cajas o los, 229, 231
pesar cada, 231-232
Contrapesos, 340, 359
Control de costos del manejo de materiales, 458
Copiadora, 412
Corredores, 428
Correos en masa, 412
Costo(s)
de la energía, 8, 400
de la mano de obra directa, 58
de las partes de la producción, 26*n*
del balanceo, 110
de la línea, 119
del proyecto, controlar los, 9
Criterios de diseño de bodegas, 249-250
Crujía, 401
Cuarto(s)
de casilleros, 268-269
de mantenimiento y herramientas, 259-261
Cubos del inmueble, 293
Cuentas exhaustivas, generar, 232
Cuidado de la salud, la simulación en el, 478-480

D

Datos
antropométricos, 205
estándares, 89-90
históricos, la opinión de los expertos en los estándares de tiempo y los, 90-91
sistemas automáticos de obtención de, 308
Decisiones de fabricar o comprar, 41
Departamento
de almacenes, sistemas requeridos por el, 333
de bodega, 249
de diseño del producto, 29-38
de envíos, requerimientos de espacio del, 232-235
de ingeniería del producto, 38
de marketing, 26-29
instalaciones requeridas por el, de recepción, 227-228
requerimientos de espacio del, de envíos, 228-229
Depuración, 486
Descarga, 225
Desperdicio, 4, 39
Determinación
de espacios, 218-221
del espacio de bodega, 256-257
del tamaño del edificio, 429
del tiempo de procesamiento o tasa de la planta, 27-28
Diagrama
adimensional de bloques, 180, 185-188, 419-422, 430
de análisis de afinidades, 181
de cuerdas, 140-142

de flujo, 138, 152-155, 414
de trayectoria, 190
procedimiento paso a paso para desarrollar un, 155-156
de fuerzas de las comunicaciones, 414-418
de la relación de actividades, 181-185
de procedimiento, 414
Dibujo desglosado, 30
Diseñador
de instalaciones de manufactura, 25-26, 95
de la distribución de la planta, 274
Diseño
de herramientas, 95
de instalaciones, 1, 17
de manufactura, 1, 18
estándares de tiempo para el, 91-92
fuentes de información para el, 25-43
importancia del, y manejo de materiales, 1-4
las computadoras y la simulación en el, 14-15
metas del, y manejo de materiales, 5-11
procedimiento del, 11-13
tipos y fuentes de los proyectos del, 13-14
de la distribución asistido por computadora, 471-477
de la estación de manufactura, 203-206
del inmueble, 2
del proceso, 95-124
la distribución, de instalaciones, 437-459
evaluación, 455-459
plan maestro, 440-450
plano del plan, 437-440
procedimiento de distribución de la planta: planta de cajas de herramientas, 450-455
la estacionalidad de la demanda es importante para el, 29
los proyectos de, 40
preliminar, 470
y análisis del flujo asistido por computadora, 162-164
Dispositivos
manipuladores y elevadores, 343-351
para manejo de materiales, de la estación de manufactura, 340
que se cierran en forma automática, 215
que se controlen con el pie, 215
Distracciones visuales, 400
Distribución(es), 2, 249
de la planta, 1
métodos de, 440
de la planta: planta de cajas de herramientas, procedimiento, 450-455
de oficinas
metas del diseño de la, 399-400
técnicas de, 412-424
de una instalación, 15
maestra detallada, 423-424
normal, 238
orientada al proceso, 96, 98, 136, 137
orientada al producto, 96, 136, 137, 139
orientada al trabajo en el taller, 124
vender la, 481-487
Dollies, 331

E

Economía de movimientos, 205
la ergonomía y los principios de la, 206-218
Edificio de bodegas, 248-249
Efectividad, 208
Eficiencia, 208
cálculo de la, de la línea de ensamble, 120-123
Eisenhower, Dwight D., 291
Elevador(es)
de tijera o hidráulicos, 340
de vacío, magnéticos o, 348
hidráulicas de tijera, 340
hidráulico de camión para plataformas, 312
magnéticos o de vacío, 348
Eliminación de desechos, 346
Embodegar, 372-376
Empacar los bienes terminados para enviarlos, 229
Empaque, 112, 366-372
de la producción, 95
Enfoque
de la instalación, 229
desde la barrera, 38
Engrapado automático, doblado, pegado y, 367
Ensamblado y pintura, 359-366
Entrada para empleados, 266-268
Enunciado de misión, 5-6, 18
Envío(s)
funciones del departamento de, 229-232
recabar órdenes de, 232
requerimientos de espacio del departamento de, 228-229, 232-235
Envoltura ajustada, 372
Equipo(s)
auxiliares, herramientas y, 308
de manejo de materiales, 8
de propósitos múltiples, 316-320
móvil para almacenes, 327-333
móvil para fabricación, 351-359
para el manejo de materiales, 307-391
para manejar materiales, 8
para mover, 312
para plataformas, 310-312
Ergomoción, 204
Ergonomía, 2, 95, 204
definición, 203
los principios de la, y la economía de movimientos, 206-218

resultado de la, y el diseño de la estación de la manufactura, 203
Esfuerzos, 80
Espacio(s)
de oficinas
abierto, 401-404
determinación del, 422
tipos de, 400-407
del operador, 218
especiales y apropiados para estacionamiento, 265-266
Establecer rutas, 96
Estación
de empaque, 376
del 100 por ciento, 110
Estacionalidad de la demanda es importante para el diseño, 29
Estacionamiento(s), 264-266
asignado, 265
espacios especiales y apropiados para, 265-266
Estándar(es) de tiempo, 50, 95, 98
la opinión de los expertos en los, y los datos históricos, 90-91
o manufactura, 50
para cada tarea, 106-107
para el diseño de instalaciones de manufactura, 91-92
qué es un, 50-52
Estandarización, 19
principios de, 297-298
Estudio(s)
de factibilidad, 41, 57
de tiempos, 50-92
con cronómetro, 66-70
con retroceso, 76
continuo, 76
importancia y usos del, 52,65
procedimiento del, y su forma paso a paso, 70-81
técnicas del, 65-70
Excusados y sanitarios, 269-270
Experimentación, 470
Exprimen, 294

F

Fabricación, 336-359
de partes individuales, 140-152
manufactura de las partes individuales, 96-101
Fabricadas, partes, 38
Fachada, 439
FACTOR/AIM, 471
FactoryCAD, 162, 471-472
FactoryFLOW, 162, 163, 471, 474-476
FactoryOPT, 473-474
FactoryPLAN, 188, 190, 192, 471, 472-473
Filosofías (JIT), 39
Flujo
de la manufactura, 180
de materiales, 400
principio del, 292
de trayectoria variable, 124
directo, plataforma-plataforma y, 389-391
total de la planta, 252-162
Forma paso a paso, procedimiento del estudio de tiempo y su, 70-81
Fórmula de reducción de costos, 3, 17
Frecuencia, 77
Frente, 439

G

Gancho tipo S, 366
Gato de mano para plataforma, 312
Gerente de proyectos, 1
responsabilidades de un, 1
Gilbreth, Frank, 206
Gráfica
de acumulación de tiempo de la operación, 105
de ensamble, 106
de flujo del proceso, 158-161
de operaciones, 156
procedimiento paso a paso para preparar una, 156-158
de origen-destino, 414-458
de relación de actividades, 190, 418
procedimiento paso a paso para preparar una, de flujo del proceso, 162
Gravedad, 215-217
principio de, 293
Grúas
de castillo único, 320
de doble castillo, 320
de puente, 307, 318-320
elevado, 310
de travesaño, 307, 347-348
Grupo de procesamiento de textos, 412
Guardar en bodegas, 248-259

H

Habilidad, 80
Herramientas y equipos auxiliares, 308
Hoja de cálculo de los requerimientos de las instalaciones de almacenamiento, 241-242
Hoja(s)
de actividades, 419
de requerimientos totales de espacio, 426
de ruta, 96-99, 140
de trabajo, 185
Hora(s)
piezas por, 51
remuneradas, 61

I

Iluminación, adecuada, 218
Implantación y documentación, 470
Indirectos de fábrica, 58
Industria camionera en la recepción y el envío, efecto de la, 224
Información de la política de administración, 38-41
Informe del proyecto, 481-483
Ingeniería
  concurrente, 38
  inversa, 36-38
  piloto, 485-486
Ingeniero
  de procesos, 95
  de proyecto, 1
Inicio de la producción, 486
  fecha de, 9
Instalación(es), 485
  calefacción y acondicionamiento de aire, 261
  médicas, 276-277
  recreativas, 274
Intercambio de datos electrónicos (IDA), 227
International Organization for Standardization (ISO), 15
Inventario(s)
  a granel, 256
  análisis ABC de, 249
  de respaldo, 256
  distribución de un ABC de una compañía manufacturera de herramientas de mano, 253-256
  justo a tiempo (JIT), 5, 237
  procedimiento para análisis de venta con, ABC, 252-253
Inversión, 440
  política de, 39-40
ISO 9000, 18
  y la planeación de instalaciones, 15-17

J

Jaula para las herramientas de mantenimiento, 331
Jidoka, 4, 17
Justificación del costo, 288-290

K

Kaizen, 4, 18
Kanban, 4-5, 18, 39, 138

L

Línea
  de ensamble, cálculo de la eficiencia de la, 120-123
  de visión, 401
Lista
  de empaque, 226
  de partes, 30
  estructura de los materiales, 30, 35

M

Manejo
  de desechos, la simulación en el, 480
  de materiales, 1, 2, 18, 287-305
    a granel, 377-385
    la importancia del diseño de instalaciones de manufactura y, 1-4
    lista de verificación del, 301-305
    metas del diseño de instalaciones de manufactura y, 5-11
    objetivos del, 290
    veinte principios del, 290-301
  procedimiento de solución del problema de, 301
Manipuladores y elevadores, dispositivos, 343-351
Mantenimiento, 260-261
  cuarto de, y herramientas, 259-261
  preventivo, 298
Manufactura
  esbelta, 2, 4, 18, 39, 102, 137
    implantación de conceptos de, 2
    objetivos de la, 102
  justo a tiempo, 458
  simulación en la, 478
  sistema de, flexible, 469
Mapeo de la corriente de valor (MCV), 5, 19
Máquinas expendedoras, 270-272
Material directo, 58
Matsushita Works, Ltd., 450
Mejora continua, 2
Mesas
  de rodamientos, 347
    energizadas, 347
  redondas energizadas, 215
Método(s)
  de la pantalla y la cinta para diseñar instalaciones, 440
  de medición de tiempo (MTM), 65
  de tolerancia personal, fatiga y retraso (PFyR), 87-88
Mezzanines, 258-325
Minutos decimales, 51
Modelados con simulación, 15
Modelo(s)
  conceptual, 470
  tridimensionales (3D), 446
Modo automático en el transportador, 367
Monoblock de los motores, 295
Montacargas, 247, 258, 312, 316
Mostrador de control de inventarios, 240
Movimientos
  balísticos, 211
  continuos, 211-212
  controlados, 211

de la mano, 209-211
restringido, 211
Muestra(s) de modelo, a mano, 35-36, 38
Muestreo del trabajo, 88-89

N

Nivelación de la producción, 18

O

Ocho clases de muda, 4, 17
Oficina(s)
asignación de área de, 432-435
convencionales, 404
de estancia libre, 407
de los supervisores, 401
de muros fijo, 404
de paisaje, 407
en cúmulo, 407
en la plataforma de recepción, 228
estacionamiento para, 265
moderna, 404-407
Ohno, Taiichi, 39
Órdenes por etapas, 232
Organigrama, 399, 413-414
Orientación de la distribución, 124

P

Paquetes
de distribución de planta asistida por computadora, 441
de simulación, 14
Partes
de la producción, costo de las, 26*n*
fabricadas, 41
Participación del empleado, 138
Pasillos, 227, 275-276, 412
longitud de, 243-248
Patines, 308
PDF 417, 227
Pegado y engrapado automáticos, doblado, 367
Pensamiento esbelto y desperdicio como partes de la política de administración, 39
Peso muerto, principio del, 298
Piezas por hora, 51
Plan maestro, 440-450
Planeación
de instalaciones
ISO 9000 y la, 15-17
simulación en la, 468-469
de los requerimientos de espacio, 426-429
de requerimientos de materiales (MRP), 5
Planeadores de las instalaciones, 3
Plano del plan, 437-440
Plantas de ensamble, 35
Plataforma(s), 294, 308, 312
de descarga, 308-310
de recepción y envíos, 308-310
sistemas requeridos en las, 323
elevadores y tableros para, 227
equipo para, 310-312
interiores, 310
portátiles, 325
puertas para, 227
tipo dedos, 310
y flujo directo, 389-391
Pláticas de café, 404
Pokayoke (a prueba de tontos), 18
Política de inventarios, 39
Preparación de la entrada de datos, 470
Preparar reporte de piezas excedentes, faltantes y dañadas (EFyD), 226
Presentación, 483-484
Presupuestar, 65
Presupuesto de personal, cómo se desarrolla, 65
Principio(s)
cinco, 3, 17
de adaptabilidad, 298
de automatización, 295
de capacidad, 299
de control, 299
de estandarización, 297-298
de gravedad, 293
de la utilización del espacio, 293
de mecanización, 295
de obsolescencia, 299
de planeación, 291-292
de seguridad, 300-301
de selección de equipo, 295-297
de simplificación del trabajo, 292-293
de sistemas, 292
de utilización, 298
del flujo de materiales, 292
del mantenimiento, 298
del peso muerto, 298
del rendimiento, 300
del tamaño unitario, 294
Procedimiento de la orden de compra (OC), 414
Procesamiento, 95
Proceso de desensamble, 36, 38
Producción
en masa, 6
enviar a los almacenes o a, 226-227
metas y los objetivos de la, 6
Productividad, 61
cómo se mide la, 61-62
Programación del arranque, 40
Programas de trabajo, 10
ProModel, 471, 476
Proporcionar almacenamiento seguro, 248
Prototipos, 35-36
Punto a punto, 307

R

Razón de utilización de maquinaria, 458
Recepción
  instalaciones requeridas por el departamento de, 227-228
  y envíos, 223-235, 308-323
    efecto de la industria camionera en la, 224
    ventajas y desventajas de la, centralizados, 223-224
Registro
  de Bates, 225
  de lo que se recibe, 225
Regla
  del 80/20, 251-252
  práctica, 184
Relación(es)
  de materiales, 30
  organizacionales, 41
Remoción de las astillas, 346
Rendimiento, 39-40
  sobre la inversión, (ROI), 2, 39, 63
Reportes
  de recepción, preparar un, 226
  de rendimiento, 62
Requerimientos
  de espacio de los servicios auxiliares, 223-261
  y consideraciones especiales, 407-412
Retrabajo, 28
  cálculo de las tasas de desperdicio, 28-29
Retroajuste, 13, 18
Retrocesos, 140, 154-55
Ritmo normal, 51
Robots, 348-351
  para tomar y colocar, 368
Ruedas de patines y transportadores rodantes, 351-352
Rueditas, Dolliesy, 331
Ruido, 400
Ruta fija, 307

S

Sala(s)
  de correo, 412
  de juntas, 411
Seguimiento, depuración y, 486
Seguridad
  consideraciones sobre la, y la salud del operador, 217-218
  de los empleados, 8
Selección del sitio, 2
Selectividad, proporcionar acceso inmediato a todo, 239-248
Servicios
  auxiliares, 180
  para empleados: requerimientos de espacio, 264
  varios para empleados, 277-278
Simulación, 14-15, 19
  definición de la, en computadora, 467-468
  definición del problema, 469
    sistema, 469
  en computadora, uso de la 120-123
  en el cuidado de la salud, 478-480
  en el diseño de instalaciones de manufactura, las computadoras y la, 14-17
  en el manejo de desechos, 480
  en la manufactura, 478
  en la planeación de instalaciones, 468-469
  ventajas y desventajas de la, 468
  y modelado en computadora, 466-480
Sistema(s)
  automáticos de obtención de datos, 308
  avanzados de cómputo, 446-450
  de agrupar, 333-334
  de almacenamiento y recuperación automáticos (SARA), 307, 385
  de almacenamiento y recuperación en carrusel, 332
  de control de inventarios, 335
  de control del rendimiento, 62
  de distribución por vacío, 378, 380
  de estándares predeterminados de tiempos (PTSS), 51, 65, 66, 81
  de flujo continuo, 307
  de localización, 239, 333
  de manufactura fexible (SMF), 469
  de producción Toyota, 4, 19
  para manejar materiales, de ruta fija, 307
  para manejo de materiales, integrados por computadora, 385-391
  que jala, 5
  telefónicos, 411-412
  tradicionales de inventario que empujan, 5
Software de distribución y simulación, panorama del, 471
Sostenes
  en V, 338
  inclinados, 338, 359
SPIRAL, 471
STORM, 471
Suspenden, 294

T

Tabla
  de carga de trabajo en las celdas, 101-105
  de origen-destino, 144-146
  de relación de actividades generada por computadora, 188-194
  del proceso, 146-148
    de columnas múltiples, 142-144
  descripción paso a paso para la, del proceso, 148-152
  procedimiento paso a paso para preparar una, 105

Tanques, y bombas, 380
Tarea específica, 51
Tasa
  de desperdicio y retrabajo, cálculo de las, 28-29
  de producción, 27
    de la planta, 55
  determinación del tiempo de procesamiento o, de la planta, 27-28
Taylor, Fredrich, W., 66, 81
Técnica(s)
  bajo la masa, 294
  de evaluación del costo, 459
  de la estación de manufactura, 422
  de las tolerancias elementales, 87
  de los 200 pies cuadrados por persona, 422
  del diseño asistido por computadora (CAD), 446
  del nivel en la organización, 422
Tecnología(s)
  de grupo, 101, 124
  de identificación y captura de datos en forma automáticas (ICDA), 227, 232, 239, 299
Tiempo
  de caminata, 105
  de procesamiento, 12, 19
    calcular el, 27
  de reorden, 238-239
  del proceso, 55, 113, 114
  en déficit, 238
  normal, 77
  total del ciclo, 105
Tinas, y cestas, 336, 359
Tolerancia(s), 81-91
  métodos de aplicación de, 85-88
  personal, 82
  por fatiga, 82-84
  por retrasos, 84-85
  tipos de, 81-88
Tolvas vertedoras, 340, 346, 359
Trabajador calificado y bien capacitado, 51
Trabajo
  al centro de manufactura, 61
  con valor agregado, 19
  en proceso (WIP), 16, 39
Trabes, 428
Tráfico cruzado, 152
Transportador(es), 215, 360-367
  con fuerza y libertad, 366
  de ángulo ajustable, 353
  de materiales a granel, 378-385
  de remolque, 363
  de rodillos energizados, 360
  de tablillas, 361-363
  de tornillo, 378
    y en espiral, 355
  de vagoneta monorriel, 356
  de vibración, 355
  elevadores, 353
  elevados de vagoneta, 364-366
  magnéticos, 353
  rodantes (no energizados), ruedas de patines y, 351-352
  rotatorios de contenedores
  sin fin, 360
    cóncavos, 378
  telescópico, 320-322
  tipo carro, 360-361
  velocidad del, 107
Transporte colectivo, 265
Traslación de modelo, 470
Travesaños móviles, 346

U

Ubicación(es)
  aleatorias, 239
  de la planta, 1-2
Unidad(es)
  de almacenamiento, 323-337
    de cajones, 327
  de inventario existente (SKU), 251
  disponibles, 237
Uso
  del espacio volumétrico, maximizar el, 237-239
  escalonado, 239
  máximo, 238
  mínimo, 237
  normal, 237
Utilización del espacio, maximizar la, 455-458

V

Vehículos
  de abrazaderas, 374-375
  de guía automática (VGA), 307
  guiados automáticamente (VGA), 14
Velocidad del transportador de pintura, 108-109
Vendedores ambulantes, 272
Verificación y validación, 470